

Revista trimestral

TECNOLOGÍA

en marcha

ISSN 0379-3982 Vol. 28 N°1 enero – marzo 2015

Contenido

Desarrollo de sistemas de agua caliente sanitaria en Costa Rica a partir de la energía solar

Development of solar domestic hot water systems in Costa Rica

Fernando Lizana-Moreno..... 3

Automatización de pequeña escala con Open Hardware

Automation of small-scale with Open Hardware

Luis Diego Murillo-Soto..... 15

Caracterización de tres organizaciones de producción agrícola de la subregion Caraiques: Parte I. Análisis descriptivo de las agrocadenas

Characterization of three agricultural production organizations in the sub-region Caraiques: Part I. Descriptive analysis of agro supply chains

Edgardo Vargas-Jarquín, Germán Geovanny Sánchez-Benavides..... 24

Descriptores botánicos para caracterizar germoplasmas de *Ricinus communis* de diferentes zonas de Costa Rica

Botanical descriptors for *Ricinus communis* germplasm characterization obtained from different Costa Rica's regions

Paola Solera-Steller, Ileana Moreira-González, Jesús Hernández-López..... 37

Larval stage prediction model of *Spodoptera frugiperda* collected in fig (*Ficus carica*) and discovery of *Apanteles* sp. as its parasitoid

Desarrollo de un modelo de predicción del estado larval en *Spodoptera frugiperda* y hallazgo de *Apanteles* sp. como su parasitoide, colectados en el cultivo del higo (*Ficus carica*)

Alexander Schmidt-Durán, Vladimir Villalba-Velásquez, Randall Chacón-Cerdas, Kaleb Martínez, Dora Flores-Mora 47

Simulación del haz de electrones en un TEM como flujo de partículas cargadas

Simulation of the electron beam in a TEM as a charged particles flux

Alberto Hernández-Valle, Vanessa Valverde-Noguera, Ignacio López-Gómez, Bruno Chinè-Polito, Ricardo Esquivel-Isern, Juan Chaves-Noguera 59

Sistemas de producción caprina y ovina en la subregión Costa Oriental del Lago de Maracaibo

Systems goat and sheep production in the coast sub region eastern of Lake Maracaibo

Cesar Timaure-Jiménez, José Alberto Pozo, Yuleidy Soto-Ysea, Anny Guerere-Morales..... 71

Características químicas del suelo, producción forrajera y densidad poblacional de lombrices en un sistema silvopastoril en la zona Huetar Norte de Costa Rica

Chemical properties of soil, forage production and population density of earthworms in a silvopastoral system in the Zona Huetar Norte of Costa Rica

Alberto Camero-Rey, Heiner Rodríguez-Díaz 91

Calogénesis y establecimiento del cultivo de células en suspensión de *Uncaria tomentosa* (Willd.) D.C. (uña de gato)

Callus formation of cell suspensions in *Uncaria tomentosa* (cat's claw)

Laura Sánchez-Calvo, Silvana Alvarenga-Venutolo..... 105

La virtualidad en los procesos educativos: reflexiones teóricas sobre su implementación

Virtuality in the educational process: theoretical reflections on its implementation

Cristian Moreira-Segura, Brenda Delgadillo-Espinoza 121

Desarrollo de sistemas de agua caliente sanitaria en Costa Rica a partir de la energía solar

Development of solar domestic hot water systems in Costa Rica

Fernando Lizana-Moreno¹

*Fecha de recepción: 2 de mayo del 2014
Fecha de aprobación: 27 de agosto del 2014*

Lizana-Moreno, F. Desarrollo de sistemas de agua caliente sanitaria en Costa Rica a partir de la energía solar. *Tecnología en Marcha*. Vol. 28, N° 1, Enero-Marzo. Pág 3-14.

¹ Ingeniero en Electrónica y Máster en Energías Renovables. Área de Investigación en Energías Alternativas. Instituto Costarricense de Electricidad. Costa Rica. Correo electrónico: FLizana@ice.go.cr

Palabras clave:

Agua caliente sanitaria; colectores solares; método F-Chart.

Resumen

En Costa Rica, el 41,3% de los hogares utilizan sistemas de agua caliente sanitaria (ACS), que en su gran mayoría funcionan a partir de energía eléctrica mediante dispositivos de calentamiento en línea, empleando para esto el efecto Joule. Estos sistemas representan a escala nacional un consumo aproximado de más de 250 GWh al año.

Para el presente trabajo se recopilaron datos de irradiación solar y temperatura media mensual en cada uno de los distritos del país. Con esta información se elaboró una herramienta de *software* que calcula la fracción solar de una instalación doméstica de ACS empleando el método F-Chart. Además, se analizó la rentabilidad financiera de una instalación solar de ACS para una vivienda promedio, comprobándose la necesidad de establecer una serie de políticas e incentivos con el fin de lograr una masificación del uso de la tecnología solar térmica en el sector residencial. Finalmente, se formuló una estrategia de implantación de la tecnología en el país, cubriendo aspectos de reglamentación, capacitación del cuerpo técnico nacional y creación de leyes que regulen el sector. El objetivo es crear herramientas que permitan introducir los sistemas solares de ACS en Costa Rica para sustituir los equipos eléctricos de calentamiento de agua, como una forma de contribuir al ahorro energético nacional.

Keywords

Domestic hot water systems; solar collectors; F-Chart.

Abstract

In Costa Rica, 41,3% of the households are equipped with a Domestic Hot Water System (DHW), which operate in a large majority from electricity. These systems represent an estimated national consumption over 250 GWh per year.

In this work, insolation data and monthly average temperature were compiled, for each district of the country. With this data, a software tool was developed, that calculates the solar fraction of a DHW installation using the F-Chart method. The financial performance of a solar DHW system for an average home was analyzed, proving the need of policies and incentives to achieve mass use of solar thermal technology in the residential sector. Finally, an implantation strategy of the technology was proposed for Costa Rica, covering regulatory issues, training of a national technical staff, and creation of laws governing the sector. The goal is to create tools to introduce solar DHW systems in Costa Rica, to replace electric water heaters, as a way of contributing to national energy saving.

Introducción

Consumo eléctrico en sistemas de agua caliente sanitaria en Costa Rica

Según la *Encuesta de consumo energético nacional en el sector residencial de Costa Rica* (Alvarado, Carazo y Ramírez, 2006), en el 41,3% de los hogares se utilizan sistemas de ACS, los cuales en su gran mayoría operan con dispositivos eléctricos de calentamiento en línea, mediante el efecto Joule. Dichos sistemas consumen en promedio 41 kWh anuales de energía eléctrica por hogar, para un consumo nacional total de más de 250 GWh al año. Por lo anterior, resulta conveniente para el país la utilización de sistemas solares de ACS, ya que permitirían contribuir al ahorro energético, disminuyendo la demanda de energía eléctrica en el sector residencial.

Emulación de la estrategia española de implantación de la tecnología de sistemas solares de ACS

Para implementar en Costa Rica el reemplazo a nivel nacional de los sistemas de ACS basados en duchas eléctricas por sistemas basados en colectores solares, se consideró conveniente emular la experiencia desarrollada en España. En ese país europeo, mediante la aprobación del Real Decreto 1027/2007, se introdujo el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (Real Decreto, 2007), que establece las medidas necesarias que deben tomarse para dicho fin, desde la capacitación de los técnicos encargados del mantenimiento y construcción hasta la inscripción de empresas instaladoras y la aprobación de los diseños de instalaciones solares de ACS, entre otras medidas. Otra acción realizada en España fue la modificación del Código Técnico de la Edificación (Ministerio de Vivienda, 2006), en el cual se introdujo una sección para el cálculo de la contribución mínima de energía solar para los sistemas de ACS (sección HE 4), que incluye, entre otras cosas, la clasificación de diferentes zonas del país según la cantidad de irradiación solar recibida en el año y el porcentaje del consumo energético de los sistemas de ACS que debe ser obligatoriamente cubierto con energía solar para cada una de las regiones involucradas.

Objetivos del proyecto

Para lograr un ahorro en el consumo energético de Costa Rica mediante el uso de sistemas solares de ACS se establecieron los siguientes objetivos:

- Elaborar una base de datos con información de la radiación solar para las diferentes localidades de Costa Rica, a partir de la información disponible actualmente.
- Desarrollar un manual de diseño de sistemas solares de ACS para el país.
- Diseñar un sistema solar de ACS para el tipo de edificación promedio del país.
- Implementar un *software* para el cálculo de los parámetros y dimensiones necesarios para la instalación solar de ACS, en el cual se incluya la información de la citada base de datos.
- Desarrollar un análisis financiero de los sistemas solares de ACS en Costa Rica.
- Proponer estrategias para la implantación de sistemas solares de ACS en Costa Rica.

Metodología

La metodología para el desarrollo del proyecto fue la siguiente:

Datos básicos para el cálculo de sistemas solares de ACS en Costa Rica

Para el cálculo de la fracción solar de una instalación de ACS es necesario obtener, entre otros datos, el valor medio mensual de irradiación solar diaria, de temperatura ambiental y de temperatura del agua de la red del sitio donde se ubicará la instalación. Con el fin de crear una herramienta de *software* que permita calcular la fracción solar de una instalación de ACS en cualquier lugar de Costa Rica, se planteó la tarea de construir una base de datos con información de los tres parámetros mencionados anteriormente, para cada distrito del país. Para esto, el caso de los valores medios mensuales de irradiación solar diaria y temperatura ambiental, se obtuvieron mapas con isolíneas, a partir de los cuales se tabularon los datos con la información para cada distrito. Para el caso de la temperatura del agua de red, se procedió a utilizar un método indirecto para su cálculo.

Método F-Chart

Para el cálculo de la fracción solar de una instalación de ACS se decidió utilizar el método F-Chart desarrollado por Beckman y colaboradores (Beckman, Duffie y Klein, 1977). Se realizó una investigación para establecer las ecuaciones requeridas para concretar el método F-Chart, con el fin de poder implementarlo adecuadamente en una herramienta de *software* diseñada para Costa Rica.

Cálculo de una instalación promedio para Costa Rica

Se realizó el cálculo de un sistema solar de ACS para una residencia promedio, empleando para ello el método F-Chart estudiado en el apartado anterior. Con la información obtenida en este punto, se hizo el análisis de costos de este tipo de instalaciones. Este punto sirvió de insumo para redactar una estrategia de implementación de la tecnología de sistemas solares de ACS en Costa Rica.

Desarrollo de herramienta de *software* para el cálculo de sistemas solares de ACS en Costa Rica

Se desarrolló una herramienta de *software* para el cálculo de los sistemas solares de ACS en Costa Rica, llamada "ACS_CostaRica". Se utilizó la plataforma Lazarus, ya que se basa en un lenguaje de programación simple (Pascal) y es de licencia libre.

En el programa creado se incluyó la información de la base de datos mencionada en el punto 2.1 y se implementó la metodología F-Chart, para permitir que el usuario obtenga la fracción solar de una determinada instalación de ACS, a partir del ingreso del sitio donde ésta se ubicará.

Manual de instalaciones solares de ACS

Una vez completada la herramienta de *software* del punto anterior, se elaboró un manual de instalaciones solares de ACS. Este se enfoca en la explicación de los parámetros necesarios para el adecuado dimensionamiento de una instalación y así poder obtener el mayor provecho del *software*.

Informe final con la estrategia de implantación de la tecnología en Costa Rica

Una vez finalizadas las etapas previas del proyecto, se redactó un informe final, en el cual se incluyó un capítulo con una estrategia para la implantación de la tecnología de sistemas solares de ACS en Costa Rica.

Desarrollo

A continuación se enumeran los principales detalles del desarrollo de las diferentes etapas del proyecto.

Construcción de una base de datos básicos

En el año 2002, Wright (2002) publicó unos mapas de irradiación solar del país, contruidos a partir de datos de estaciones de medición del Instituto Meteorológico Nacional (IMN) y el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE).

Para 2006, Wright (2006) detalló dichos mapas por solicitud del ICE, dando un valor medio anual de la irradiación diaria para cada distrito del país. Como parte del presente proyecto, se elaboró una base de datos con la información del valor medio mensual de irradiación diaria en cada uno de esos distritos.

Para el caso de los valores medios mensuales de temperatura ambiente, se recurrió a la base de datos del INM. Se utilizaron datos de 92 estaciones meteorológicas, para construir mapas de temperatura mediante interpolación Kriging y elaborar a partir de ellos una base de datos con los valores de temperatura media mensual para cada distrito del país. En la Figura 1 se muestra el mapa de temperatura media anual que se obtuvo.

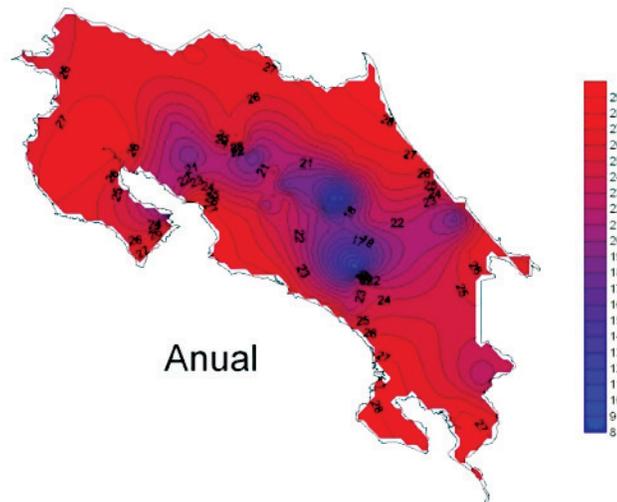


Figura 1. Mapa de temperatura media anual para Costa Rica (en grados Celsius).

Para el caso de la temperatura del agua de red, ante la ausencia de mediciones se recurrió a un método indirecto para su cálculo. En un documento de RETScreen International (2001) se establece una metodología para el cálculo de la temperatura de agua de red a partir de la temperatura ambiente, que fue validada en la ciudad de Toronto, Canadá. Para la fundamentación teórica de esta metodología se recomienda consultar RETScreen International (2001). A continuación, se describe la implementación de dicha metodología.

Como primer paso, debe determinarse la amplitud de la variación anual de la temperatura del agua, utilizando la ecuación (1).

$$T_{0\text{agua}} = 0,35 * \left(\overline{T_{a-\text{max}}} - \overline{T_{a-\text{min}}} \right) \quad (1)$$

donde $T_{0\text{agua}}$ corresponde a la amplitud en grados Celsius de la variación anual de la temperatura del agua, $T_{a\text{-max}}$ es el promedio mensual máximo en el año para la temperatura ambiental y $T_{a\text{-min}}$ es el promedio mensual mínimo en el año para la temperatura ambiental.

Luego se debe obtener el valor medio anual de temperatura ambiental del sitio donde se realizará la instalación de ACS, tomado de la base de datos mencionada construida en el presente proyecto. A dicho valor se le debe sumar la mitad de la amplitud de la variación anual de la temperatura del agua, obtenida en la ecuación (1). Con esto, se obtendrá el valor medio mensual más alto de la temperatura del agua. Se ha establecido un retardo de 1 mes en la variación de la temperatura del agua con respecto a la temperatura ambiental, por lo que el valor obtenido corresponderá al mes siguiente del valor máximo de temperatura ambiente. La ecuación (2) representa lo descrito anteriormente.

$$\overline{T_{\text{max-agua}}} = \overline{T_a} + \frac{T_{0\text{agua}}}{2} \quad (2)$$

donde $\overline{T_{\text{max-agua}}}$ es la temperatura media mensual del agua en grados Celsius, de valor máximo en el año, correspondiente al mes siguiente de la temperatura media mensual ambiental máxima, y $\overline{T_a}$ es el promedio anual de la temperatura ambiental en grados Celsius.

Para el cálculo de la temperatura del agua de red de los meses siguientes, se debe tomar la diferencia de temperatura media ambiental entre el mes actual y el mes anterior, y multiplicarlo por un factor de atenuación de 0,35. El valor obtenido debe ser sumado a la temperatura media del agua del mes y así se obtendrá el valor de la temperatura media del agua para el mes siguiente. La ecuación (3) ilustra lo mencionado.

$$\overline{T_{\text{agua}(t+1)}} = \overline{T_{\text{agua}(t)}} + 0,35 \left(\overline{T_{a(t)}} - \overline{T_{a(t+1)}} \right) \quad (3)$$

donde $\overline{T_{\text{agua}(i)}}$ es la temperatura media del agua para el mes actual en grados Celsius, $\overline{T_{\text{agua}(i+1)}}$ es la temperatura media del agua para el mes siguiente, $\overline{T_{a(i)}}$ es el valor de la temperatura media ambiental para el mes actual y $\overline{T_{a(i-1)}}$ es la temperatura media ambiental para el mes anterior, en grados Celsius.

Implementación del método F-Chart

El método F-Chart para el cálculo de la fracción solar de instalaciones de ACS se obtuvo de Beckman y colaboradores (1977). Dicho método parte de un balance energético para un período de un mes, descrito en la ecuación 4.

$$Q_T - L + E = \Delta U \quad (4)$$

donde Q_T es la energía solar útil recibida durante el periodo, L representa el consumo de agua caliente sanitaria, E es la energía auxiliar total requerida en el mes y ΔU es el cambio de energía en la unidad de almacenamiento. Todos los valores son en Julios.

Para los sistemas solares de ACS típicos, la magnitud de ΔU es muy pequeña con respecto a Q_T , por lo que se puede aproximar a cero. La ecuación se puede reescribir entonces de la siguiente forma:

$$f = \frac{L - E}{Q_T} = Q_T / L \quad (5)$$

donde f representa la fracción del consumo energético mensual del sistema de ACS, suplido con energía solar.

La ecuación anterior no permite el cálculo directo del aporte solar de los sistemas de ACS, debido a que Q_T depende de forma compleja de muchos parámetros: radiación incidente, temperatura ambiente y cargas de ACS. Por lo tanto, se utilizarán dos grupos adimensionales:

$$X = (F_R * U_L) * (T_{ref} - \overline{T_a}) * t * A / L \quad (6)$$

$$Y = (F_R * (\tau * \alpha)_n) * \frac{\overline{\tau * \alpha}}{(\tau * \alpha)_n} * \overline{H_T} * N * A / L \quad (7)$$

donde A es el área del colector solar (m^2), F_R es el factor de eficiencia de remoción del calor del colector solar, U_L es el coeficiente de pérdida de energía del colector ($W/(C * m^2)$), Δt es el número total de segundos en el mes, T_{ref} es la temperatura de referencia ($100 \text{ }^\circ\text{C}$), $\overline{T_a}$ es el promedio mensual de temperatura ($^\circ\text{C}$), L es la carga total mensual de ACS (J), $\overline{H_T}$ es el promedio de irradiación diaria mensual incidente en el colector por unidad de área (J/m^2), N es el número de días en el mes, $(\tau * \alpha)$ corresponde al promedio mensual del producto transmitancia-absortancia del colector.

Ambos grupos adimensionales tienen un significado físico. “Y” se refiere a la proporción entre la energía total absorbida por el colector y la carga de ACS total mensual. “X” se refiere a la proporción entre las pérdidas de un colector de referencia y la carga de ACS total en un mes.

Debe mencionarse que los factores $(F_R * U_L)$ y $(F_R * (\tau * \alpha)_n)$ se obtienen directamente de las pruebas de desempeño de los colectores solares. El valor de $\overline{T_a}$ se obtiene de la base de datos meteorológicos. El área del colector “A” es un valor seleccionado para la realización de los cálculos. El factor $\frac{\overline{\tau * \alpha}}{(\tau * \alpha)_n}$ se calcula a partir de datos del fabricante y siguiendo el procedimiento descrito en Klein (1979) y Beckman y Duffie (1974). Más adelante se explicará el procedimiento para el cálculo de los restantes términos.

Los desarrolladores del método F-Chart de cálculo de sistemas de ACS a partir de energía solar han determinado de manera empírica, mediante simulaciones computacionales y su respectiva verificación en el campo, la relación entre la fracción de aporte solar “f” y los parámetros X y Y descritos en las ecuaciones (6) y (7). La ecuación (8) describe dicha relación:

$$f = 1,029Y - 0,065X - 0,245Y^2 + 0,0081X^2 + 0,0215Y^3 \quad (8)$$

Mediante el empleo de la ecuación (8) se obtiene el aporte solar para cada mes del año del sistema implementado. El aporte energético solar se obtiene multiplicando el valor de “f” por la carga energética mensual “L”. La suma de todos los aportes energéticos del sol para cada mes, dividida entre la carga energética anual, nos da el aporte solar anual del sistema en estudio.

Para obtener la ecuación (8) se han considerado dos parámetros fijos de diseño: la velocidad del fluido calorportador por unidad de área del colector y la capacidad del tanque de almacenamiento por unidad de área del colector.

La velocidad del fluido calorportador influye en el factor de eficiencia de remoción de calor F_R , de manera asintótica: un cambio en la velocidad del fluido genera una proporción pequeña de mejora en F_R . Un valor adecuado para la tasa de capacitancia calórica del fluido (flujo x calor específico) es de $50 \text{ W/}^\circ\text{C}$, el cual se obtiene para velocidades de flujo de aproximadamente $0,015 \text{ l/(s * m}^2\text{)}$. Para valores por encima de ese valor, se obtienen solo pequeños incrementos

en la eficiencia del sistema. Debe notarse que, por el contrario, un decremento considerable en la velocidad de flujo del líquido calorportador sí puede provocar una importante desmejora en el desempeño del colector solar, por la disminución del factor F_R , y en casos extremos, por problemas de evaporación dentro de las tuberías. Para el cálculo de la ecuación (8) se ha considerado una velocidad de flujo de 0,015 l/s por cada metro cuadrado de colector.

Tomando en cuenta los parámetros de operación y consideraciones económicas, se ha determinado empíricamente que la capacidad de almacenamiento óptima para sistemas de ACS con energía solar se encuentra en el rango de 50 y 100 litros de agua por metro cuadrado de superficie de colectores. La ecuación (8) ha sido calculada para un volumen de almacenamiento de 75 litros por metro cuadrado de colector. En caso de utilizar un valor diferente, se debe introducir un factor de corrección, el cual deberá ser multiplicado por el parámetro X de la ecuación (8). A continuación, se brinda la expresión para obtener el factor de corrección por volumen de almacenamiento X_c/X :

$$\frac{X_c}{X} = \left(M/75\right)^{0,25} \quad (9)$$

donde M representa la capacidad de almacenamiento en litros por metro cuadrado de área de colector.

El método de F-Chart fue diseñado para el cálculo de sistemas solares que incluyen agua caliente sanitaria y calefacción de espacios. Si se requiere calcular únicamente sistemas de ACS, como es el caso del presente trabajo, es necesario agregar otro factor de corrección, el cual corresponde al efecto que tienen sobre la eficiencia del sistema dos parámetros: T_m , la temperatura del agua de red, y T_w , la temperatura mínima aceptable de utilización del agua caliente. En la ecuación (10) se muestra la expresión para el factor de corrección de sistemas de ACS (X_{ACS}/X).

$$\frac{X_{ACS}}{X} = \frac{\left(11,6 + 1,18T_w + 3,86T_m - 2,32\bar{T}_a\right)}{\left(100 - \bar{T}_a\right)} \quad (10)$$

El factor de corrección (X_{ACS}/X) debe multiplicarse por el valor del parámetro X de la ecuación (8), antes de hacer el cálculo del sistema de ACS mediante la metodología F-Chart.

Para obtener el promedio de radiación mensual sobre una superficie inclinada \bar{H}_T , requerido para la ecuación (7), se debe utilizar la siguiente expresión:

$$\bar{H}_T = \bar{R}^* \bar{H} \quad (11)$$

donde \bar{H} es la radiación media mensual sobre superficie horizontal (J/m^2) y \bar{R} representa la proporción entre radiación media mensual sobre superficie inclinada y horizontal.

Para calcular \bar{R} se deben considerar por separado la radiación directa, la difusa y el albedo. Tomando en cuenta que la radiación difusa es isotrópica, \bar{R} se puede expresar de la siguiente forma:

$$\bar{R} = 1 - \frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} \bar{R}_b + \frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} \frac{1 + \cos(s)}{2} + \rho \frac{1 - \cos(s)}{2} \quad (12)$$

donde $\overline{H_d}$ es el promedio mensual de radiación difusa (J/m^2), $\overline{R_b}$ es la proporción entre radiación directa media mensual sobre superficie inclinada y horizontal, s es el ángulo de inclinación del colector solar con respecto a la horizontal, y ρ es el albedo (normalmente varía entre 0.2 y 0.7, dependiendo de las características reflectivas del suelo).

En la ecuación (12), el primer término corresponde a la contribución de la radiación directa, el segundo término a la radiación difusa y el último a la radiación reflejada por el suelo (albedo).

Normalmente no se tiene el promedio mensual de radiación difusa y por eso se ha desarrollado un método para calcularla.

Se ha determinado que la proporción entre la radiación media difusa y la radiación media total ($\overline{H_d}/\overline{H}$) es función del parámetro $\overline{K_T}$, el cual representa la proporción entre la radiación media total y la radiación extraterrestre, según se describe en la ecuación 13.

$$\overline{K_T} = \frac{\overline{H}}{\overline{H_0}} \quad (13)$$

donde \overline{H} es la irradiación media sobre una superficie horizontal (J/m^2), y $\overline{H_0}$ es el valor medio mensual de la irradiancia extraterrestre sobre una superficie horizontal (J/m^2)

La irradiancia solar extraterrestre es la que se recibe fuera de la atmósfera. Esta varía según la época del año y la latitud. Para el presente proyecto se calculó este parámetro siguiendo el procedimiento establecido en el manual de sistemas solares de ACS de RETScreen International (2001).

Para obtener la proporción entre la radiación media difusa y la radiación media, se utiliza la siguiente relación:

$$\frac{\overline{H_d}}{\overline{H}} = 1,39 - 4,03\overline{K_T} + 5,53\overline{K_T}^2 - 3,11\overline{K_T}^3 \quad (14)$$

Para el cálculo de $\overline{R_b}$ se puede hacer una estimación mediante la proporción entre la radiación extraterrestre sobre la superficie inclinada y una superficie horizontal.

Para superficies orientadas hacia el ecuador, o con un ángulo de azimut menor a 15° , $\overline{R_b}$ se puede obtener en función de la latitud (ϕ) y la inclinación con respecto a la horizontal (s). La ecuación (15) brinda la expresión para obtener el parámetro mencionado.

$$\overline{R_b} = \frac{\cos(\varphi - s)\cos(\delta)\sin(\omega'_s) + \frac{\pi}{180} \omega'_s \sin(\varphi - s)\sin(\delta)}{\cos(\varphi)\cos(\delta)\sin(\omega_s) + \frac{\pi}{180} \omega_s \sin(\varphi)\sin(\delta)} \quad (15)$$

donde δ es el ángulo de declinación solar, ω_s es el ángulo en que sale el sol por el horizonte visto desde una superficie horizontal y ω'_s es el ángulo en que sale el sol por el horizonte, visto desde la superficie inclinada.

En las ecuaciones 16 a 18 se dan las expresiones para obtener los parámetros mencionados supra.

$$\delta = 23,45 * \sin(360 * (284 + n) / 365) \quad (16)$$

donde n es el día del año.

$$\omega_s = \arccos(-\tan(\varphi) * \tan(\delta)) \quad (17)$$

$$\omega'_s = \text{MIN } \omega_s, \arccos(-\tan(\varphi - s) * \tan(\delta)) \quad (18)$$

Para el cálculo del factor L de la ecuación (6) y la ecuación (7), correspondiente a la carga mensual de ACS en Julios, se utiliza la expresión descrita en la ecuación (19):

$$L_w = N * \left(\#_{\text{personas}} \right) * C * (T_w - T_m) * \rho * C_p \quad (19)$$

donde L_w es el consumo energético en el sistema de ACS (J), N es el número de días en el mes, C representa el consumo de ACS por persona, (litros/día), T_w es la temperatura mínima aceptable para la utilización del agua (normalmente se consideran 60 °C), T_m es la temperatura media del agua de red (°C), ρ es la densidad del agua (1 kg/l) y C_p es el calor específico del agua (4190 J/(kg °C))

Cálculo de instalación de ACS promedio en Costa Rica

Según datos consultados en la página web del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos de Costa Rica (INEC, 2007), en el país existen 1 182 108 viviendas, para 4 443 100 habitantes, lo que da un promedio de 3,76 personas por hogar.

Del total de viviendas, únicamente un 3% son edificios de condominios o departamentos (multifamiliares). Por lo tanto, se observa que la casi totalidad de viviendas del país consisten en edificaciones unifamiliares. Debe indicarse además que un 64% de las viviendas se ubican en la región central.

Por lo anterior, el sistema de ACS promedio para el sector residencial de Costa Rica consiste en una vivienda unifamiliar, con cuatro ocupantes, ubicada en la región central del país. Para efectos del cálculo de un sistema ejemplar, se tomó una residencia de la provincia de San José, en el cantón central (San José), en el distrito Hatillo. El cuadro 1 resume las características de la vivienda promedio utilizada. En el cuadro 2 se enumeran las características principales de la instalación de ACS.

Se tomaron los valores mensuales de irradiación media diaria y de temperatura media, de la base de datos construida en el apartado 3.1 del presente artículo. Se calculó la temperatura de agua de red siguiendo el procedimiento descrito en las ecuaciones (1) a (3). Se obtuvo la fracción solar de la instalación siguiendo el método F-Chart, descrito en las ecuaciones (4) a (19). Los resultados obtenidos se muestran en la figura 2.

Cuadro 1. Vivienda promedio utilizada para el cálculo de una instalación de ACS.

Característica	Dato
Provincia	San José
Cantón	San José
Distrito	Hatillo
Tipo de vivienda	Unifamiliar
Número de habitantes	4

Cuadro 2. Especificaciones de instalación de ACS.

Especificación	Valor
Volumen del tanque de almacenamiento	120 litros
Temperatura de utilización del agua	60 °C
Ángulo de azimut del colector	0°
Ángulo de inclinación Sur del colector	10°

Se analizó la rentabilidad de la instalación, mediante una comparación entre el ahorro energético obtenido al utilizar la energía solar versus la energía consumida por un sistema convencional de ducha eléctrica. El resultado fue una rentabilidad negativa, por lo que se estableció la necesidad de implementar una estrategia para la implantación de los sistemas solares de ACS en Costa Rica. Con esta finalidad, se desarrolló un análisis de sensibilidad para identificar las variables que tienen un mayor peso en la rentabilización de los sistemas en estudio.

Estrategia de implantación de los sistemas solares de ACS en Costa Rica

Una vez concluidos los apartados anteriores, se redactó una estrategia de implantación de la tecnología de sistemas solares de ACS en Costa Rica. A continuación se brinda un resumen de sus principales puntos.

Software para el cálculo de sistemas solares de ACS en Costa Rica: Se propone la oficialización de la herramienta de *software* desarrollada en el presente proyecto, “ACS_CostaRica”, para el establecimiento de la fracción solar de las instalaciones de ACS realizadas en el país.

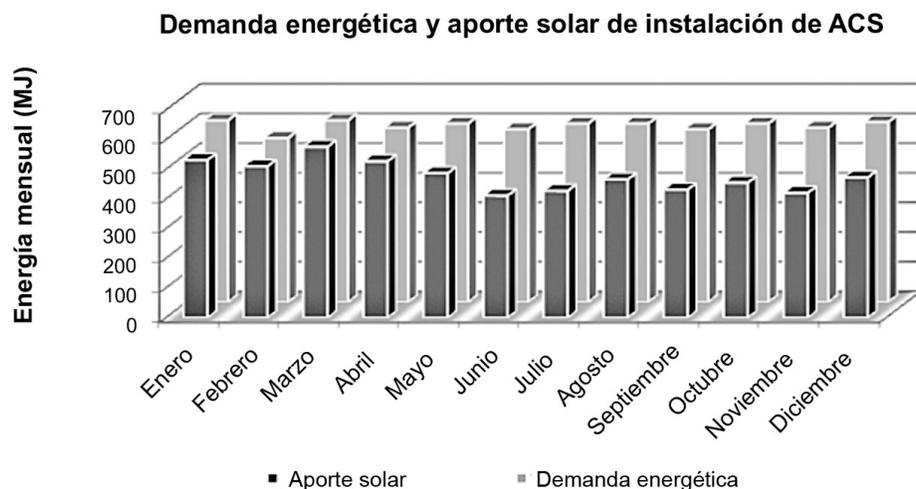


Figura 2. Fracción solar de la instalación de ACS.

Sistema de certificación de colectores solares y tanques de almacenamiento: Se propone crear una entidad acreditadora de colectores solares y tanques de almacenamiento, para asegurar su correcto desempeño. En el caso de los tanques de almacenamiento, se debe certificar su adecuada estratificación térmica.

Apoyo a la industria de fabricación de colectores solares: Al ser una tecnología que está al alcance de la industria costarricense, se propone crear una serie de apoyos que se concreten en un programa de desgravación arancelaria de las materias primas requeridas, y un programa de apoyo a la exportación de dichos equipos.

Capacitación de técnicos en instalaciones solares de ACS: Se propone lanzar un programa de capacitación en el tema, como parte de los programas educativos del Instituto Nacional de Aprendizaje (INA) de Costa Rica.

Datos básicos: Se sugiere implementar un sistema de medición de la temperatura del agua de red en los diferentes distritos del país, ya que dicho dato se ha obtenido de forma indirecta, lo que puede causar diferencias con los datos reales. Se propone también realizar un estudio del patrón de consumo de agua caliente sanitaria en los hogares costarricenses.

Legislación: Finalmente, se propone la redacción de un proyecto de ley para presentarlo a la Asamblea Legislativa, en el cual se emule la legislación creada en España, específicamente el Código Técnico de la Edificación (Ministerio de Vivienda, 2006) y el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (Real Decreto, 2007), para regular todo lo referente a las instalaciones de sistemas solares de ACS en Costa Rica.

Conclusiones

Una vez realizado el presente proyecto, se concluye que la utilización generalizada de sistemas solares de ACS permitiría un gran ahorro energético en Costa Rica, ya que en la actualidad se consumen más de 250 GWh anuales en sistemas convencionales de ACS en el sector residencial, sistemas que funcionan principalmente a partir de electricidad.

La implantación de estos sistemas en Costa Rica puede impulsarse mediante el empleo de la herramienta de *software* creada para el presente trabajo, que permite calcular la fracción solar de una instalación para cada distrito del país.

Además, es necesario desarrollar una estrategia de implantación de la tecnología en el país, tomando medidas en cuanto a certificación de equipos, apoyo a la industria de fabricación de colectores solares, capacitación de técnicos en instalaciones de ACS, generación de datos básicos y creación de legislación, para poder lograr su efectiva implantación en Costa Rica.

Bibliografía

- Alvarado, F., Carazo, E. & Ramírez, F. (2006). *Encuesta de consumo energético nacional en el sector residencial de Costa Rica. Año 2006*. Costa Rica: Dirección Sectorial de Energía.
- Beckman, W. & Duffie, J. (1974). *Solar Energy Thermal Processes*. John Wiley & Sons.
- Beckman, W., Duffie, J. & Klein, S. (1977) *Solar heating design by the F-Chart method*. John Wiley & Sons.
- INEC (2007). *Anuario estadístico*. Obtenido de www.inec.go.cr
- Klein, S. (1979). Calculation of the monthly average transmittance-absorptance product. *Solar Energy* (23)6, 547-551.
- Ministerio de Vivienda. (2006). *Código técnico de la edificación*. España.
- Real Decreto 1027/2007. (2007) *Reglamento de instalaciones térmicas en edificios*. España.
- RETScreen International. (2001). *Clean Energy Project Analysis: RETScreen Engineering & Cases Textbook. Solar Water Heating Project Analysis Chapter*. Canadá: Ministerio de Recursos Naturales.
- Wright, J. (2002). Mapas de radiación solar en Costa Rica. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos* 9(2), 79-87.
- Wright, J. (2006). *Estudio del potencial solar en Costa Rica*. Costa Rica: Instituto Costarricense de Electricidad.

Automatización de pequeña escala con *Open Hardware*

Automation of small-scale with *Open Hardware*

Luis Diego Murillo-Soto¹

Fecha de recepción: 21 de mayo del 2014
Fecha de aprobación: 2 de setiembre del 2014

Murillo-Soto, L. Automatización de pequeña escala
con *Open Hardware*. *Tecnología en Marcha*. Vol. 28, N° 1,
Enero-Marzo. Pág 15-23.

¹ Profesor Asociado, Máster en Computación, Escuela de Ingeniería Electromecánica, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Teléfono: (506)2550-9347.
Correo electrónico: lmurillo@tec.ac.cr

Palabras clave

Aplicaciones industriales; tecnología para control; educación en control.

Resumen

Una posible solución a los problemas de automatización en pequeña escala es realizar los proyectos con la plataforma de prototipado rápido llamada Arduino. El presente trabajo muestra el estado actual del dispositivo y su utilización en labores de control industrial. Además, se programó la lógica de control de un sistema que posee dos alternadores de bombas; la codificación se realizó usando el lenguaje C y el lenguaje LabView. Las pruebas de funcionalidad del controlador mostraron el cumplimiento de ambos lenguajes. Finalmente, se discuten las ventajas y desventajas de la utilización de *open hardware* en proyectos de automatización.

Keywords

Industrial applications; Control technology; Control education.

Abstract

One possible solution to small-scale automation problems, is use the rapid prototyping platform called Arduino, this paper shows the current status of the device and its use in industrial control tasks. Additionally, the control logic of a system that contain two pumps alternators have been programmed; the coding is performed using the C language and the LabView language. Tests showed compliance controller functionality of both. Finally we discuss the advantages and disadvantages of using open hardware automation projects.

Introducción

La automatización de los procesos industriales se puede entender como una actividad tecnológica que busca sustituir, en una actividad determinada, al operador humano por dispositivos mecánicos o electrónicos (Moreno, 2001). El modelo estructural general de las soluciones de automatización es similar al de la figura 1, en la cual se muestra que para la correcta automatización del proceso es necesario: a) comprender el proceso productivo en detalle, b) definir las variables del proceso por medir y controlar, y c) definir la tecnología de control que se encargará de capturar, procesar y manipular las señales desde los sensores y actuadores. Además, el dispositivo lógico de control debe poseer capacidades de comunicación y diálogo con otras unidades u operarios.

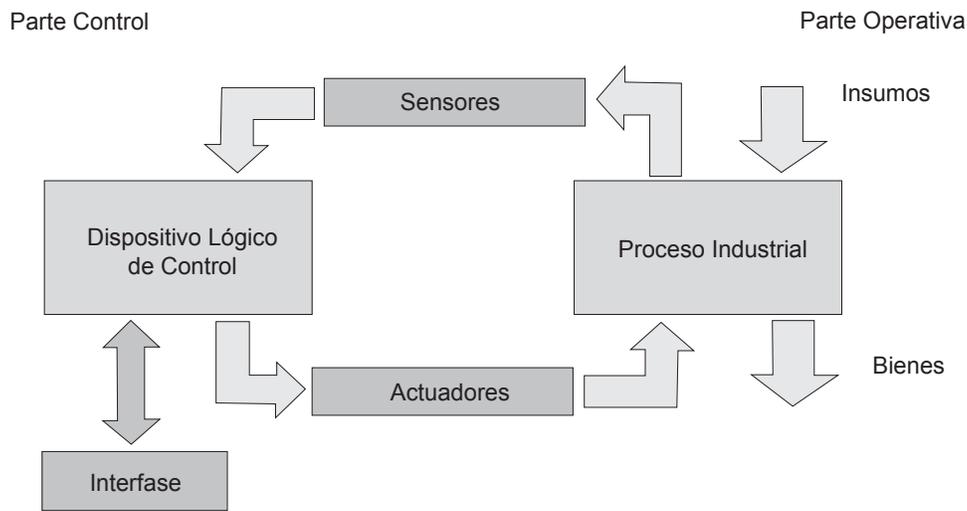


Figura 1. Modelo de estructura de la automatización de procesos.

La implementación del dispositivo lógico de control se puede realizar en varias tecnologías, entre ellas los circuitos de relés, circuitos operacionales, circuitos digitales no programables y programables, etc. A nivel industrial comercial, los controladores lógicos programables (PLC, por sus siglas en inglés) constituyen la tecnología dominante; por ejemplo, un *software* especializado para la programación de PLC de distintos fabricantes como el CODESYS (CODESYS, 2013) agrupa más de 300 fabricantes con miles de controladores comerciales. Por otra parte, el paradigma del *hardware* abierto (OSHWA, 2012) como medio para solucionar problemas diversos es cada vez más notorio, tal como se mostró en el “Open Hardware Summit 2013” llevada a cabo en el M.I.T (Mathilde, 2013), en donde se observó un crecimiento de las compañías basadas en este modelo de negocio, tal como se aprecia en la figura 2.

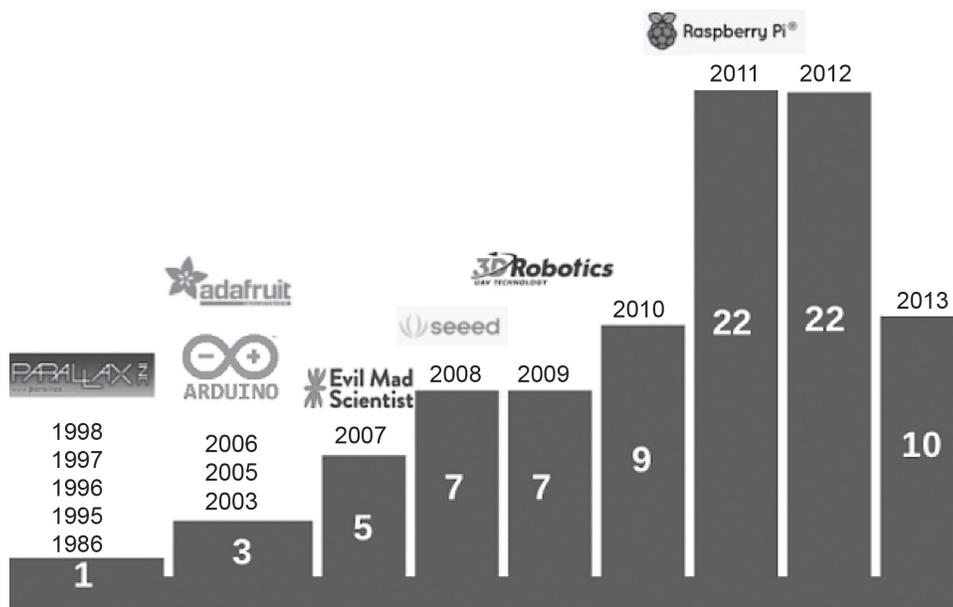


Figura 2. Fundación de compañías que desarrollan *Open Hardware* en Estados Unidos. Tomado de Mathilde, 2013.

La Plataforma Arduino

Si bien es cierto existen muchas plataformas de desarrollo de *hardware* abierto, los microcontroladores conocidos como Arduinos se han convertido en el ambiente de prototipado más usado a nivel global (Leung, 2012), por su costo, su variada oferta de controladores y accesorios y su forma de programación basada en C con múltiples bibliotecas de código abierto, aunado a su capacidad de procesamiento. Por ejemplo, si se revisa la especificación técnica para la tarjeta Arduino MEGA (Arduino, 2014a), se observa que posee un procesador marca ATMEL modelo ATmega 2560 (ATMEL, 2014), que es un procesador de 8 bits tipo RISC que procesa 16 millones de instrucciones por segundo (MIPS) a 16 MHz; una memoria de trabajo *flash* de 256K Bytes, 54 pines configurables como entradas o salidas, 16 entradas analógicas de 0 a 5 voltios con una resolución de 10 bits y frecuencia de muestreo de 10kHz, etc. Con estas especificaciones de procesamiento y capacidad para manejar entradas y salidas digitales, es válido plantear la automatización de pequeña escala con estos dispositivos, es decir, como sustituto de controladores industriales tales como los relés inteligentes y los nano y micro PLC. Actualmente existe en la red de profesionales LinkedIn un debate abierto sobre la utilización o no de los Arduinos en la industria (Shervin, 2013), en procesos no críticos, no riesgosos o en sistemas automáticos de magnitud pequeña o en máquinas aisladas.

Si se revisan las especificaciones técnicas del micro PLC de última generación modelo CPU 1212C (SIEMENS Corp., 2012), se ve que posee una memoria de trabajo de 50 K Bytes, procesa 10 MIPS y tiene 8 entradas y 6 salidas digitales, con 2 entradas analógicas, etc. Si se comprara solamente la velocidad de procesamiento, cantidad de memoria y cantidad de entradas y salidas, el Arduino Mega es una opción superior a este PLC particular. Sin embargo, estas no son las únicas variables que se deben analizar; el PLC tiene características a su favor, por ejemplo, las entradas están aisladas optoelectricamente, posee salidas a relés o a transistor de 24 voltios, tiene carcasas plásticas con algún grado de protección IP, el *software* de programación utiliza lenguajes de programación estandarizados definidos en la norma IEC 61131-3, -lo que facilita las modificaciones a los programas de automatización-, tiene respaldo del fabricante, certificaciones eléctricas UL, CE, etc., modularidad y expansión, manejo de protocolos industriales, etc.

Dadas algunas debilidades que se le señalan al Arduino, han aparecido versiones de *hardware* robustas, pensadas para ambientes más hostiles, tal es el caso de Ruggeduino (Rugged-Circuit, 2013) que incorpora protección para todas las entradas, montaje para riel DIN; el PLC Arduino, que consiste de *shield* (tarjeta de expansión) para Arduino Uno, en el que las entradas son optoacopladas para señales de 24 voltios DC, salidas a relé, puertos de comunicación RS 485 y *ethernet* (Biemme-Italia, 2014); y el Industrino, con carcasa para riel DIN, pensado para la automatización domótica (Ainura, 2014) (ver figura 3).

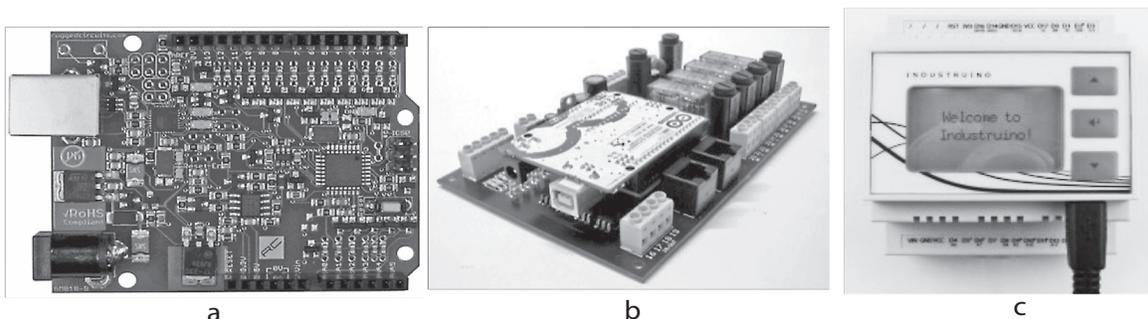


Figura 3. a) El Ruggeduino, b) PLC Arduino, c) Industrino. Tomado de (Rugged-Circuit, 2013; Biemme-Italia, 2014; Ainura, 2014)

Por otra parte, a nivel industrial ya aparecen casos exitosos reportados, como la puesta en marcha de una impresora industrial de etiquetas plásticas controlada totalmente por cinco Arduinos (Romano, 2013), o la actualización con Arduinos de una máquina cuyas tarjetas obsoletas no se conseguían en el mercado (MAAC, 2012). Por otra parte, y atacando otra debilidad señalada como la interconexión con otros dispositivos, la compañía Annikken (Piasim Corporation, 2014) ofrece el *shield* de conexión *bluetooth* para controlar, monitorear, guardar datos en cualquier dispositivo móvil con el sistema operativo Android o IOS. Asimismo, el control o monitoreo a través de internet se realiza de forma muy sencilla usando el Arduino Yun y las bibliotecas de Temboo (Temboo, 2013), que permiten publicar en tiempo real datos en Facebook, Twitter o tablas de datos y curvas en Plotly (Plotly es una herramienta científica basada en la WEB, para importar datos y genera gráficas de tendencias, líneas de ajuste, graficas de barra, etc.).

Otra tendencia marcada para la utilización de los Arduinos consiste en realizar la adquisición de datos y el preprocesamiento en el sitio, con enlaces inalámbricos a otros dispositivos, sin embargo, para esto se requiere mayor potencia de procesamiento. En este sentido, Intel incursiona desarrollando el Arduino llamado Galileo (Arduino, 2014c), que tiene un procesador Intel de 32 bit, que corre a 400 MHz, con 256 Mega Byte de memoria de trabajo, redes *ethernet* de 100 Mbits, mini-PCI y *memory card* de 32 Giga bytes, capacidades de sobra suficientes para realizar labores de automatización, adquisición y preprocesamiento de datos, etc.

Para la compra de tarjetas, sensores, accesorios y distintos *shields para* Arduino, existen varios proveedores en Costa Rica, como Radio Shack o tiendas virtuales como CRCibernepetica (Gridshield, 2014), que ofrecen una amplia gama de *hardware* con precios similares o idénticos a los publicados en tiendas especializadas en Estados Unidos como Sparkfun (SparkFun-Electronics, 2009).

Programación de los Arduinos

En cuanto a su programación, los Arduinos se codifican con el lenguaje C o C++ en el entorno del desarrollo integrado (IDE) de Arduino (Arduino, 2014b). Además, existen paquetes de programación alternativos, por ejemplo, el *CodeBlocks for Arduino* (Huang, 2013). También se puede programar de manera gráfica usando *Ardublocks* (Ardublocks, 2014) o el paquete *QP Framework* (Quantum-Leaps, 2014) diseñado para programar máquinas de estado complejas a partir de los SateChart. La utilización de *software* para el procesamiento numérico o computación científica, tal como Scilab 5.5, es posible gracias al lenguaje de programación gráfico de Xcos y una biblioteca desarrollada por Bruno Jofret (Jofret, 2013). Cabe destacar que los paquetes mencionados y sus bibliotecas son gratuitos y de uso público.

Desde la perspectiva de los *softwares* comerciales, los microcontroladores Arduinos se pueden programar de manera gráfica desde el *software* de programación *LabView* de National Instrument (National-Instrument, 2013) o desde Simulink de Matlab (Picker, 2012). Si bien estos últimos paquetes son reconocidos para realizar computación científica, se requiere la compra de las licencias, y en el caso de Matlab la compra de la biblioteca para el Arduino.

Programación del Arduino Mega

Para comprobar las facilidades de programación del Arduino como sustituto de un nano o micro PLC, se decidió programar un controlador para un sistema de eventos discretos, ejemplificado por dos alternadores de bombas, donde cada alternador responde de forma independiente a la dinámica de los eventos. Con la finalidad de que el diseño del control sea poco complejo, el diseño no contempla la detección, ni diagnóstico de faltas o fallas en el sistema.

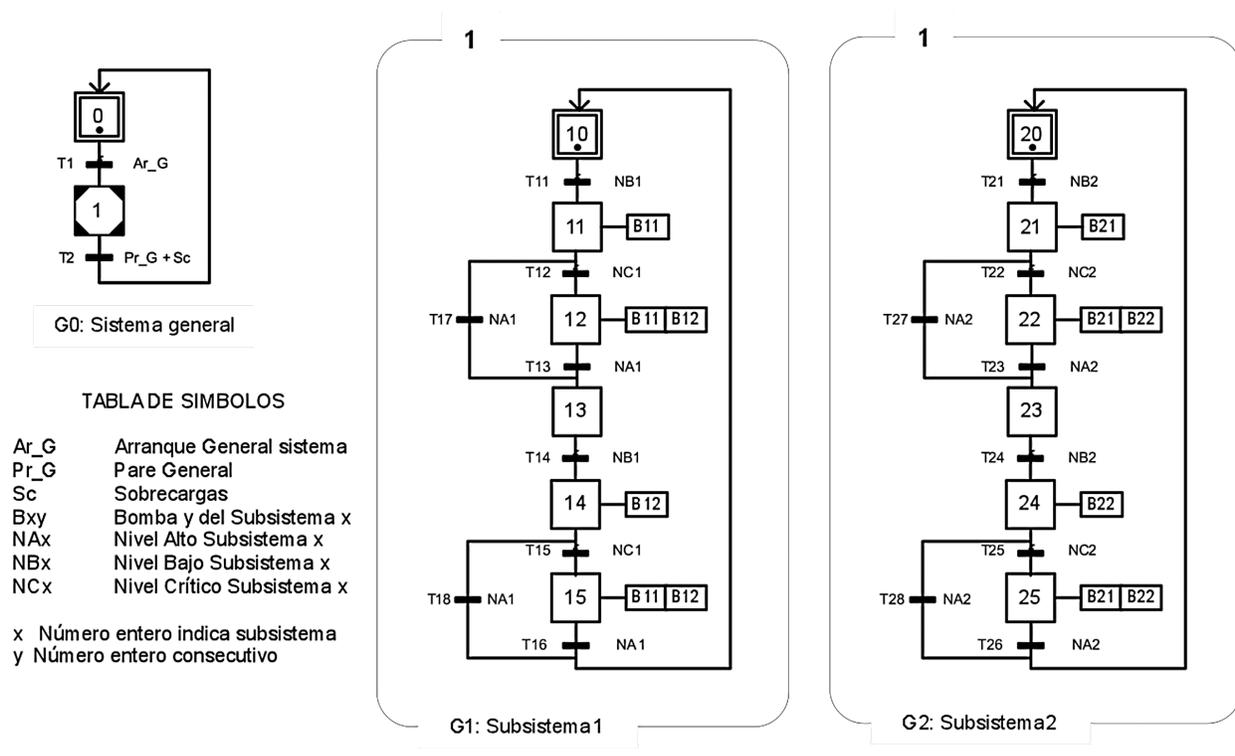


Figura 4. GRAFCET para dos alternadores de bombas que arrancan y paran por las mismas señales de mando.

El automatismo cuenta con dos botoneras, un botón arranque general y otro para el apagado general o sobrecarga. Cada sensor y actuador tendrá un código que indica a qué alternador pertenece; ese número se indica con la letra y. Cada subsistema de alternancia de bombas posee un tanque de captación, que a su vez tiene tres sensores de nivel, llamados nivel alto NA_y , nivel bajo NB_y y nivel crítico NC_y ; además existen dos bombas llamadas B_{y1} y B_{y2} . Cuando el agua activa el sensor de nivel NB_y , la bomba B_{y1} se activa y se apaga hasta alcanzar el nivel NA_y . La próxima vez que se active el sensor NB_y , se activa la segunda bomba B_{y2} y se apaga hasta alcanzar NA_y . Si la demanda de agua es tal que el nivel en el tanque descienda, el sensor NC_y se encenderán ambas bombas. El sistema debe recordar el orden de la alternancia. Esta secuencia de operación se repite hasta que se presione el apagado general del sistema o la señal de sobrecarga. La solución lógica se muestra en la figura 4, y se realizó según la norma IEC 60848 (IEC-60848, 1999), conocida como GRAFCET.

La implementación del controlador se hizo de dos formas; en la primera se usó el paradigma de la programación gráfica mediante el *software* LabView 12.0. En la figura 5 se muestra la implementación del ciclo de escaneo de cinco etapas, lectura de entradas, ejecución de código, escritura de salidas, comunicación y manejo de error de código. El código de los alternadores no se muestra por razones de espacio y estos están encapsulados en dos *Virtual Instruments* indicados con los nombres de Alternado 1 y Alternado 2 en la figura 5. Para la otra implementación se utilizó el lenguaje C a través del ambiente de desarrollo de Arduino (ver código en Apéndice A).

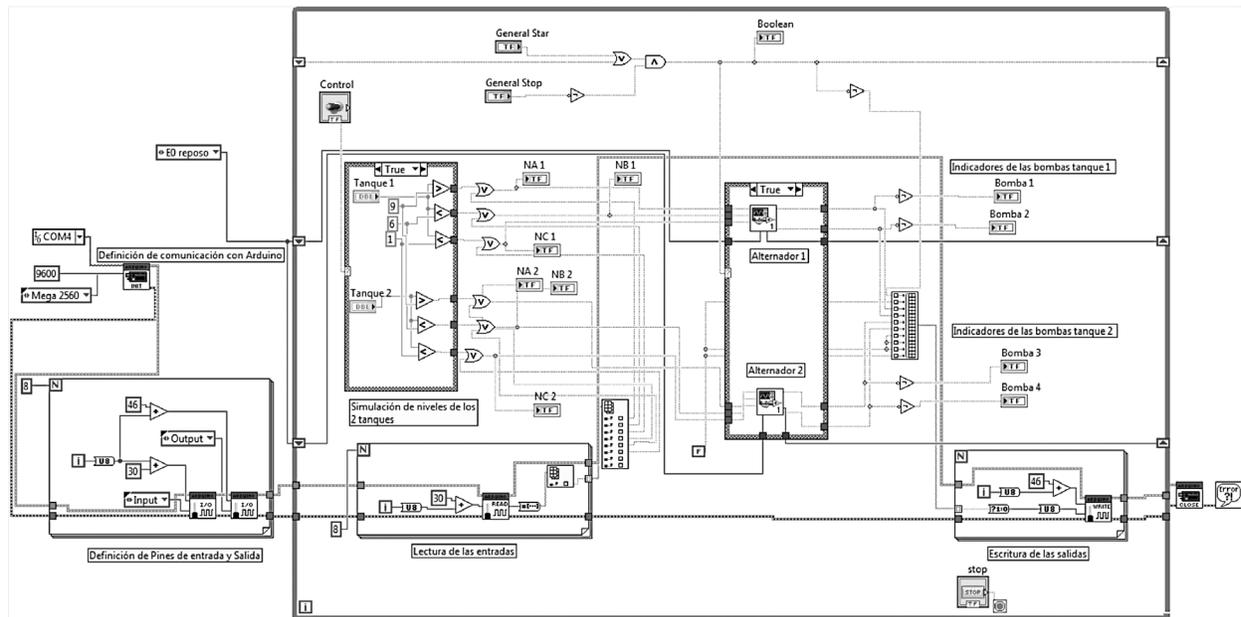


Figura 5. Programación del Arduino Mega usando LabView 12 de dos alternadores de bombas.

Análisis de las implementaciones

Las implementaciones del sistema de alternadores de bombas se realizaron sin mayores inconvenientes. Ambas soluciones controlaron el sistema de eventos discretos de acuerdo a los requerimientos de funcionamiento planteados por el GRAFCET. Sin embargo, se encontró una diferencia sustancial entre ambos modos de programación. Cuando se programó en lenguaje C, el microcontrolador AMTEL es el que ejecutó el código, por tanto es ideal para aplicaciones de control en tiempo real tipo *stand-alone*; pero cuando se programó con LabView, el Arduino funcionó como una tarjeta de entradas/salidas digitales y el procesamiento de los datos y la ejecución de los algoritmos los realizó el ambiente de desarrollo en la PC.

Discusión: Arduino vs Nano PLC

Las razones principales para utilizar Arduino en proyectos de automatización de pequeña escala se encuentran en las capacidades del *hardware* y sus costos. Se sabe que los Arduinos de gama alta poseen prestaciones superiores de procesamiento que muchos nano PLC, poseen una cantidad elevada de entradas y salidas suficiente para automatizar procesos pequeños, soportan gran número de protocolos abiertos de comunicación, existe mucha oferta de tarjetas de expansión para soportar todo tipo de sensores, etc., todo esto a un precio reducido comparado con la contraparte comercial.

Por otra parte, las razones para no utilizar los Arduinos se deben a factores tales como: el grado de criticidad del proceso productivo, las políticas de estandarización de la empresa, la poca o nula escalabilidad del proyecto a futuro, el escaso soporte sobre productos, la pobre documentación y el nulo manejo de protocolos industriales. Además, todos los lenguajes de programación se alejan de la norma IEC 61131-3, lo cual dificulta que técnicos de planta puedan brindar soporte adecuado a los algoritmos de control. Finalmente, dado que el Arduino no ha sido concebido como PLC, recae sobre el programador implementar todas las funciones comunes de los nano-micro PLC, tales como temporizadores, contadores, PID, levas horarias, etc., así como muchas otras funciones de mayor o menor nivel.

Por las razones expuestas anteriormente, cada proyecto debe valorarse cuidadosamente para ver si los productos basados en la filosofía del *open hardware* son la solución adecuada. A mediano plazo se vislumbra que estos dispositivos solventarán las deficiencias señaladas dado el rápido avance tecnológico, e incursionarán no solo en la automatización de procesos industriales sino en la instrumentación científica de laboratorios, autotrónica, domótica, etc., como un competidor más de esos mercados.

Bibliografía

- Piasim Corporation. (2014). *Annikken Andee*. Obtenido de <http://www.annikken.com/>
- Quantum-Leaps. (2014). *Event-Driven Programming for Arduino*. Obtenido de <http://www.state-machine.com/arduino/>
- Ainura, L. (2014). *Industrino Products*. (Industrino Corp.). Obtenido de <http://www.industrino.com/products.html>
- Ardublocks. (2014). *A Graphical Programming Language for Arduino*. Obtenido de <http://blog.ardublock.com/>
- Arduino. (2014a). *Arduino Mega: Overview*. Obtenido de <http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega>
- Arduino. (2014b). *Download the Arduino Software*. Obtenido de <http://arduino.cc/en/Main/Software>
- Arduino. (2014c). *Intel Galileo*. Obtenido de <http://arduino.cc/en/ArduinoCertified/IntelGalileo>
- ATMEL. (2014). *ATmega2650*. Obtenido de <http://www.atmel.com/devices/ATMEGA2560.aspx>
- Biemme-Italia. (2014). *PLC Arduino*. Obtenido de http://www.biemmeitalia.net/bmstore1x/index.php?main_page=index&cPath=1
- CODESYS. (2013). *CODESYS: The Company*. Obtenido de <http://www.codesys.com/company.html>
- Gridshield. (2014). *Open Source Hardware*. (CRCIbernetica). Obtenido de <http://www.crcibernetica.com/>
- Huang, S. (2013). *CodeBlocks for Arduino*. Obtenido de <http://arduinodev.com/codeblocks/>
- IEC-60848. (1999). *Specification language GRAFCET for sequential function charts*. 2 ed. IEC.
- Jofret, B. (2013). *Arduino Communication through Serial*. Obtenido de atoms.scilab.org/toolboxes/arduino
- Leung, K. (2012). *Arduino: A Brief History*. Obtenido de <http://www.kenleung.ca/portfolio/arduino-a-brief-history-3/>
- MAAC. (2012). *Designing a replacement for an obsolete Electro Cam control system in a Maac thermoformer using a Teensy Arduino-compatible*. Obtenido de <http://redbinary.com/designing-a-replacement-for-an-obsolete-electro-cam-control-system-in-a-maac-thermoformer/>
- Mathilde. (2013). *The State of Open Hardware Entrepreneurship 2013*. (Making Society). Obtenido de <http://makingsociety.com/2013/09/the-state-of-open-hardware-entrepreneurship-2013/>
- Moreno, E. G. (2001). *Automatización de Procesos Industriales*. Valencia: Alfaomega.
- National-Instrument. (2013). *NI LabVIEW Interface for Arduino Toolkit*. Obtenido de <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/209835>
- OSHA. (2012). *Declaración de Principios 1.0: Hardware de fuente abierta*. (OSHA). Obtenido de <http://www.osha.org/definition/spanish/>
- Picker, G. (2012). *Control an Arduino en MATLAB*. (MATLAB). Obtenido de <http://blogs.mathworks.com/pick/2012/08/24/control-an-arduino-en-matlab/>
- Romano, Z. (2013). *Using Arduino on industrial digital printing machines*. Obtenido de <http://blog.arduino.cc/2013/07/04/using-arduino-on-industrial-digital-printing-machines/#.Uzcr2fl5OSo>
- Rugged-Circuit. (2013). *The Ruggeduino: quick look*. Obtenido de <http://www.ruggedcircuits.com/ruggeduino>
- Shervin, G. (2013, 11). *Debate: Arduino for industrial automation*. Obtenido de <http://www.linkedin.com/groups/Arduino-industrial-automation-1268377.S.275300359>
- SIEMENS Corp. (2012). *SIMATIC S7-200*. Obtenido de https://www.swe.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/sce_educacion/documentacion/Documents/SIMATIC%20S71200R.pdf
- SparkFun-Electronics. (2009). *Arduino Catalog*. Obtenido de <https://www.sparkfun.com/categories/103?page=all>
- Temboo. (2013). *Get Started with Temboo*. Obtenido de <https://www.temboo.com/library/>

Apéndice A

<pre> Apéndice A. CÓDIGO DE LOS ALTERNADORES /* AUTOMATIZACIÓN DE DOS ALTERNADORES DE BOMBAS. Arraq Gener (A) -----> _____ Pare o SC (P) -----> _____ ----> Bomba 1 (B1) Nivel Alto (NA) -----> _____ Nivel Bajo (NB) -----> _____ ----> Bomba 2 (B2) Nivel Crtc (NC) -----> _____ Este ejemplo es una máquina de estados implementada con la estructura CASE Los Pines asignados son del 30 al 37 como entradas para sensores de nivel y los pines del 46 al 53 como salidas. Por Ing. Luis D. Murillo , Fecha: 16/01/14 */ // Declaracion de variables int NivelCritico =30; int NivelBajo=31; int NivelAlto=32; int Bombal=48; int Bomba2 =49; int ArrGeneral=37; int ParGeneral=36; int PinSalida=46; boolean encendido=false; int EstadoAlter1=1; int EstadoAlter2=1; // Configuracion de Pines de entrada y salida void setup(){ // inicializa los pines: for (int i = 0; i < 8; i++) { pinMode((30 + i), INPUT); pinMode((PinSalida + i), OUTPUT); } } void loop () { if (encendido == false && (digitalRead(ArrGeneral))==HIGH)) { encendido=true; digitalWrite(PinSalida, HIGH); } else if (encendido == true && (digitalRead(ParGener al)==HIGH)) { encendido=false; for (int i=0; i<8 ; i++) { digitalWrite((PinSalida + i), LOW); } } else if (encendido == true) { alternador (& EstadoAlter1, Bombal, Bomba2, Nive- lAlto, NivelBajo, NivelCritico); alternador (& EstadoAlter2, Bombal+2, Bomba2+2, NivelAlto+3, NivelBajo+3, NivelCritico+3); } } </pre>	<pre> // Implementacion de la funcion alternador void alternador(int * estado, int Bombal, int Bomba2, int NivelAlto, int NivelBajo, int NivelCritico) { switch (*estado) { case 1: digitalWrite(Bombal, LOW); digitalWrite(Bomba2, LOW); if (digitalRead(NivelBajo)==HIGH) { *estado =2; } break; case 2: digitalWrite(Bombal, HIGH); digitalWrite(Bomba2, LOW); if (digitalRead(NivelAlto)==HIGH) { *estado =3; } else if (digitalRead(NivelCritico)==HIGH) { *estado =5; } break; case 3: digitalWrite(Bombal, LOW); digitalWrite(Bomba2, LOW); if (digitalRead(NivelBajo)==HIGH) { *estado =4; } break; case 4: digitalWrite(Bombal, LOW); digitalWrite(Bomba2, HIGH); if (digitalRead(NivelAlto)==HIGH) { *estado =1; } else if (digitalRead(NivelCritico)==HIGH) { *estado =5; } break; case 5: digitalWrite(Bombal, HIGH); digitalWrite(Bomba2, HIGH); if (digitalRead(NivelAlto)==HIGH) { *estado =1; } break; } } </pre>
--	--

Caracterización de tres organizaciones de producción agrícola de la subregion Caraigres: Parte 1. Análisis descriptivo de las agrocadenas

Characterization of three agricultural production organizations in the sub-region Caraigres: Part 1. Descriptive analysis of agro supply chains

Edgardo Vargas-Jarquín¹, Germán Geovanny Sánchez-Benavides²

Fecha de recepción: 25 de mayo del 2014

Fecha de aprobación: 13 de julio del 2014

Vargas-Jarquín, E; Sánchez-Benavides, G. Caracterización de tres organizaciones de producción agrícola de la subregion Caraigres: Parte 1. Análisis descriptivo de las agrocadenas. *Tecnología en Marcha*. Vol. 28, N° 1, Enero-Marzo. Pág 24-36.

1 Magíster Scientiae en Computación. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Sede Regional de San Carlos, Costa Rica. Teléfono: (506)87229066. Correo electrónico: edvargas@itcr.ac.cr

2 Licenciado en Agronomía. Ministerio de Agricultura y Ganadería, Costa Rica. Teléfono: (506)84426582. Correo electrónico: germansabe60@hotmail.com

Palabras clave

Organizaciones agropecuarias; agrocadenas; análisis de redes sociales; relaciones de producción; subregión Caraiques.

Resumen

Se realizó un estudio con el propósito de describir las cadenas de producción agrícola inherentes a tres organizaciones rurales y las características de los agricultores que las conforman, así como identificar las diferentes relaciones que se dan en el ámbito productivo entre los asociados dentro de sus organizaciones y las estructuras de red subyacentes.

Las organizaciones estudiadas fueron: Asociación de Productores Agropecuarios de los cantones de Acosta y Aserrí (ASOPROAAA), Asociación de Familias Orgánicas de los Cerros Caraiques (AFAORCA) y Asociación de Apicultores de la Región Caraiques (APICARAIGRES), ubicadas en los cantones de Acosta, Aserrí, Desamparados, León Cortés y Corralillo, al sur de San José.

Para cumplir con los objetivos, la caracterización de las tres organizaciones se hizo utilizando parámetros descriptivos y se tomó en cuenta una serie de variables, entre las que se citan: características personales, características de producción y características financieras. Para obtener la información, se hizo una encuesta a la totalidad de los asociados a AFAORCA y APICARAIGRES y se aplicó el mismo instrumento a una muestra de los asociados de ASOPROAAA, de acuerdo con sus respectivas proporciones.

En este artículo se describen las condiciones de las tres agrocadenas inherentes a estas organizaciones y las principales características de las unidades productivas, como el tamaño, los niveles productivos y la comercialización de los productos.

Los resultados sobre las características de los agricultores y los vínculos, con los cuales se conforman los tejidos sociales y las estructuras de estas redes, se dejan para otras publicaciones.

Keywords

Agricultural organizations; agricultural chains; social network analysis; production relations; social media; sub-region Caraiques.

Abstract

This paper describes a study of agricultural production chains inherent in three rural organizations and the farmers' characteristics that shape them. Also, it was possible to identify the different relationships that exist in the production environment between partners within their organizations, as well as the underlying network structures that occur in that domain.

The studied organizations corresponded to Agricultural Producers Association of the cantons of Acosta and Aserrí (ASOPROAAA), The Association of Organic Families of Caraiques Hills (AFAORCA) and the Association of Beekeepers of the Caraiques Region (APICARAIGRES) all these located in the cantons of Acosta, Aserrí, Desamparados, León Cortés and Corralillo, to the south of San José, Costa Rica.

In order to meet the objectives, the three organizations were characterized by applying descriptive parameters taking a number of variables into account. Among these variables, personal, production and financial characteristics were identified. A survey was conducted to

all the associates of AFAORCA and APICARAIGRES and the same instrument to a sample of ASOPROAAA associates, according to their respective proportions.

In this article, conditions inherent in the three agricultural organizations chains are described, as well as the main characteristics of the production units, such as size, production levels and product marketing.

The results on the characteristics of farmers and the links that the social fabric and structure of these networks are formed are left for further publications

Introducción

La transformación en las estructuras sociales y económicas del sector rural, en el cual la agricultura sigue siendo la actividad relevante y en la que predominan pequeños emprendimientos agrícolas y de agricultura familiar, ha puesto en mayor desventaja a sus habitantes.

Como parte de esta transformación y para mitigar los resultados, se ha estimulado la organización de los productores, al crear estructuras asociativas que les permitan tener mayor acceso a los recursos institucionales y los mercados, para enfrentar juntos los retos de alta competencia y el trabajo en agrocadenas.

La capacidad de las organizaciones en la gestión y administración de los recursos provenientes de instancias públicas y privadas, así como su distribución equitativa entre los afiliados, han sido factores relevantes para el éxito o fracaso de los proyectos que desarrollan. Además, en múltiples ocasiones han sido determinantes para su permanencia o extinción.

Lo anterior llevó a plantear la posibilidad de una evaluación que determinara los factores que hacen que una organización, o parte de ella, tenga o no los resultados esperados, al revisar su estructura subyacente y el perfil de sus participantes.

Es así que se planteó un estudio que permitiera evaluar tres características sobre un conjunto de tres organizaciones de pequeños agricultores. La primera característica que interesó evaluar es el desarrollo de la agrocadena en la que interviene el agricultor y su organización. Además, se evaluó la situación individual de cada agricultor, la cual debería estar influenciada por la forma en que se relaciona con la organización. Por último, se evaluaron las estructuras sociales subyacentes de la organización, que se encuentran más allá de la estructura formal, definida fundamentalmente por las reglas que determinan al gremio.

De esta forma, el presente artículo da a conocer los resultados encontrados a nivel de las agrocadenas. Se dejan para próximas publicaciones los resultados de las otras dos características.

La organización

La organización formal de los Micros, Pequeños y Medianos Productores Agropecuarios (MPMPA) en Costa Rica se inicia de manera temprana en 1903 y 1907, con la promulgación de dos decretos que crearon lo que posteriormente se conoció como Centros Agrícolas Cantonales (Salazar, 1999).

Otra organización relevante son las ferias del agricultor, que constituyen programas dirigidos desde el Consejo Nacional de Producción (CNP) que tratan de dar acceso a los productores a mercados donde se encuentren directamente con los consumidores. Según Salazar (1999), cuando realizó su publicación existían más de 52 ferias del agricultor que daban acceso a 15 000 productores.

Existe también un conjunto de organizaciones que operan en diversos campos de acción, amparadas en la Ley 218, de agosto de 1939, la cual estipula que estas organizaciones tienen derecho de asociarse libremente para cualquier actividad para fines lícitos, que no tenga por único y exclusivo objeto el lucro o la ganancia. Entre ellas se pueden considerar las actividades agrícolas o rurales no agrícolas (pequeñas industrias), asociaciones de mujeres y de conservacionistas.

Bajo esta figura se ha creado una gran cantidad de organizaciones con fines agrícolas, ambientales y comunales en todo el país, cuyo fin primordial ha sido captar recursos económicos del Estado.

Ahora bien, estas organizaciones se crearon básicamente para paliar los efectos de la desorganización que se da entre los MPMPA, sobre todo porque en forma individual no logran tener capacidad de negociación, lo cual hace que los precios de venta de sus productos suelen ser bajos.

Otro sistema de organización muy utilizado en Costa Rica es el cooperativo. En él existen experiencias dignas de resaltar, como las cooperativas de caficultores y de lecheros, entre las que se destaca la Dos Pinos, que logró integrar vertical y horizontalmente todo el proceso de producción de leche. La Dos Pintos tiene más de 50 años de funcionamiento y cuenta con 1500 asociados que remiten 850 000 kg de leche al día. Además, procesa el 80% de la leche industrializada en el país y gracias a ello elabora una gama de más de 300 productos. Sus exportaciones ocupan el 15% de la producción total de leche y sus principales destinos son América Central, Estados Unidos, Panamá y la isla San Andrés (IICA, 2008).

Sobre esta forma de organización, instancias internacionales como la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) señalan que la cooperativa es la forma más común de asociación de productores, sobre todo aquellas que brindan servicios a sus asociados. Entre las principales ventajas de estas estructuras asociativas cabe destacar que “permiten a sus miembros economías de escala en el acceso a los recursos financieros, proporcionan un medio institucional para integrar a los pequeños agricultores en la economía nacional” (FAO, 1994). También contribuyen a una transferencia de tecnología más efectiva a sus miembros.

Agrocadenas de valor

Según Acosta (2006), podría decirse que el enfoque de agrocadena de valor nació con el llamado *Filiere Approach*, diseñado por académicos franceses interesados en mejorar la coordinación y distribución de productos agrícolas. Este autor también cita a Porter, Gereffi y Kaplinsky, indicando que el primero planteó el análisis individual de los componentes de la cadena, para luego, interrelacionándolos, identificar puntos clave donde ganar competitividad. Sobre el segundo, anota que desarrolló la metodología con el objetivo de identificar las estructuras de gobernabilidad en cada una de ellas; con respecto al tercero, anotó que la consideraba una herramienta importante para apoyar a los pequeños productores de países en desarrollo interesados en penetrar en mercados globales de manera sostenible.

Bourgeois y Herrera (1996) indican que la “cadena se utiliza para representar una realidad económica en su globalidad y se puede aplicar en varias esferas de la economía”. Añaden que para la agricultura, que ya rebasa la realidad de la producción primaria, la cadena articula en el proceso de análisis al grupo conformado por los actores que participan en las actividades de producción primaria, industrialización, transporte, comercialización, distribución y consumo. Incluso, según Bourgeois y Herrera, toma en cuenta a los individuos y las actividades que coadyuvan a su funcionamiento, en otras palabras, actividades de apoyo, como por ejemplo, servicios o aprovisionamiento de insumos.

Las cadenas productivas son una secuencia de creación de valor cuyo flujo lo originan las redes de productores y comerciantes del sector primario: agrícola, pecuario y de pesca, que incluye el procesamiento, la transformación, así como la distribución, comercialización y uso final de un producto. Por eso en las cadenas agroproductivas interesan las relaciones entre empresas, que además trascienden las transacciones puras de compra-venta y son influidas por elementos no cuantificables, que influyen sobre su eficiencia, como los flujos de información, de formas productivas, la capacitación y acuerdos, entre otros (Charpentier, 2007).

Una de las ventajas que ofrece el enfoque de agrocadena de valor es que facilita el desarrollo de alianzas productivas entre los diferentes eslabones, lo que permite el uso más eficiente de los recursos disponibles y, en consecuencia, puede mejorar la competitividad (Acosta, 2006).

Materiales y métodos

Características generales

El presente estudio se realizó en la subregión Caraigres, donde se trabajó con tres organizaciones de productores agrícolas: la Asociación de Productores Agropecuarios de Acosta y Aserri (ASOPROAAA), la Asociación de Familias Orgánicas de los Cerros Caraigres (AFAORCA) y la Asociación de Productores Apícolas de la Región Caraigres (APICARAIGRES).

Subregión Caraigres

La subregión Caraigres se ubica al sureste del Valle Central y de la ciudad capital del país. Cuenta con una extensión geográfica de unos 750 km² que alberga una población aproximada de 105 000 habitantes. Se encuentra conformada por los distritos del cantón de Acosta: San Ignacio, Guaitil, Cangrejal y Sabanillas; los distritos del cantón de Aserri: Vuelta de Jorco, La Legua, San Gabriel y Tarbaca; los distritos de San Cristóbal, Frailes y El Rosario del cantón de Desamparados; el distrito de Corralillo de Cartago y, finalmente, el distrito de San Andrés del cantón de León Cortés (Decreto de Regionalización del País para la Planificación del Desarrollo, 1978).

Esta subregión presenta condiciones topográficas, edáficas y de clima muy difíciles para la actividad agropecuaria, que es la principal fuente de ingresos de la mayoría de sus habitantes, lo que ha significado un obstáculo para su desarrollo socioeconómico.

La precipitación oscila entre 1850 y 4000 mm anuales, con un promedio de 2800 mm distribuidos entre los meses de abril a diciembre (Ortiz, 2004). Además, presenta una época seca bien marcada, superior a los tres meses.

Por otro lado, la subregión se encuentra a una altitud que va desde 600 metros sobre el nivel del mar (msnm) en los lugares cercanos a Parrita hasta los 2500 msnm en el cerro El Dragón. Presenta una temperatura media de 21 °C, con una máxima promedio de 29 °C y una mínima de 18 °C. La temperatura máxima registrada es de 32 °C y la mínima de 12 °C.

Los principales suelos de esta subregión corresponden a los órdenes entisoles, inceptisoles y ultisoles; se trata de suelos pobres, con baja fertilidad y bastante erosionados, distribuidos en una topografía ondulada y escarpada, donde el 80% de las tierras presentan pendientes superiores al 30% (Alvarado, 1984).

Por otra parte, al clasificar los distritos según su nivel de desarrollo en áreas de mayor y menor desarrollo relativo, el Mideplan califica la totalidad de los distritos de la subregión como Áreas de Menor Desarrollo Relativo (IDS Mideplan, 2007).

Organizaciones del estudio

La ASOPROAAA se localiza en Potrerillos, San Ignacio de Acosta, 600 m al sureste del Centro Turístico La Laguna. Dispone de una infraestructura amplia: una oficina para la atención de sus afiliados, un centro de capacitación y gestión empresarial, un microbeneficio, patios, una bodega de almacenamiento y un invernadero para la producción de injertos de cítricos, todo esto distribuido en una propiedad de cuatro hectáreas (ha).

En la actualidad, cuenta con 1142 asociados (pequeños y medianos agricultores) procedentes de una gran cantidad de comunidades de los cantones de Acosta, Aserrí y Desamparados, dedicados principalmente a las actividades del café y la ganadería a pequeña escala.

La agrupación AFAORCA tiene su sede al costado norte de la estación terrena del ICE en Tarbaca de Aserrí, San José. Está constituida por 25 familias de pequeños agricultores distribuidas en los cantones de Acosta, Aserrí, Desamparados, León Cortés y Barva. Su actividad consiste en la producción de café orgánico certificado y gracias a ello obtienen precios diferenciados por el valor agregado que confiere comercializar un producto orgánico terminado.

La organización APICARAIGRES, con 29 apicultores asociados de los cantones de Acosta, Aserrí y Mora, ha sido desarrollada por las familias en núcleos dispersos por toda la región, que han aprovechado la riqueza de la excelente y variada flora para la producción apícola.

Confeción y aplicación del instrumento de recolección de la información

Para obtener los datos necesarios para el presente estudio fue necesario crear una encuesta cuyo diseño se elaboró con la colaboración de un experto en la materia, y fue sometida a pruebas de campo que permitieron valorar su fiabilidad y validez.

La encuesta consideró dos tipos de información: los datos convencionales, para realizar la caracterización de las agrocadenas y los análisis de estadísticas descriptivas de los miembros de las organizaciones; y los datos relacionales, para evaluar las redes sociales de cada una de las agrupaciones.

Los conjuntos de variables consideradas con el fin de obtener los datos para la caracterización de las agrocadenas y para los análisis descriptivos se relacionan con datos personales de los agricultores, sobre la familia y su trabajo en la unidad productiva, así como la situación de vivienda y la actividad productiva.

En el caso de los datos relacionales con los que se evalúan las redes sociales en cada organización, se incluyeron grupos de variables de acuerdo con la relación del agricultor con la organización a la que pertenece, así como con la institucionalidad agropecuaria nacional más importante. También, aspectos más puntuales asociados con las juntas directivas de las organizaciones a las que pertenece el agricultor, la relación con otros miembros de la entidad a la que pertenece y el tipo, la calidad y la forma de ese vínculo. Además, se incluyó la valoración realizada por cada agricultor sobre su situación antes de ingresar a la agrupación y luego del tiempo de permanencia en ella.

Para la realización de este estudio en particular se aplicó la encuesta a la totalidad de los asociados de APICARAIGRES, que suman 29, y de AFAORCA, que son 25. En el caso de ASOPROAAA, por ser una organización con un número significativamente alto de asociados, se consideró al grupo que cumplía con la condición de ser productores de café y que entregarán una parte o la totalidad de lo producido al beneficio de la asociación. De acuerdo con los registros de la organización, estas condiciones las cumplen 106 asociados, por lo que se trabajó con una muestra de 83. El tamaño de la muestra se calculó según lo recomendado por Stockman (2004).

Estudio descriptivo de las cadenas de producción inherentes a las organizaciones

En este apartado se hizo una descripción de las fases de cada una de las agrocadenas identificadas en las tres organizaciones, a saber: Agrocadena de café convencional (ASOPROAAA), Agrocadena de café orgánico (AFAORCA) y Agrocadena de apicultura (APICARAIGRES).

Para obtener la información para la descripción de las agrocadenas se utilizaron las entrevistas personales a miembros de las juntas directivas y de los cuerpos administrativos de las tres organizaciones.

Además, en las encuestas que se aplicaron a la población en estudio se incluyeron preguntas que permitieron obtener información relevante. Esta información describió en parte la cadena de valor de las tres organizaciones. Igualmente, se realizó un trabajo de gabinete para recopilar datos importantes almacenados por las organizaciones que complementaron el trabajo.

Caracterización por parámetros descriptivos de los agricultores y las organizaciones

Las tres agrupaciones que se estudiaron presentan una serie de características descriptivas, las cuales se definieron aplicando la encuesta descrita anteriormente al grupo o subgrupo, según correspondió.

Para el análisis de la encuesta primero se creó una base de datos, diseñada con base en el modelo entidad-relación. Luego esta se transformó al modelo relacional para implementarlo en un manejador de bases de datos. Como manejador de base de datos se utilizó el *software* de oficina LibreOffice (Base). Todas las consultas se elaboraron con este mismo manejador usando SQL estándar. Los gráficos y algunas de las estadísticas descriptivas se elaboraron con Calc, la aplicación de hoja electrónica de Libreoffice. Además, para elaborar algunos análisis más complejos se utilizó "R" (<http://www.r-project.org/>).

Resultados y discusión

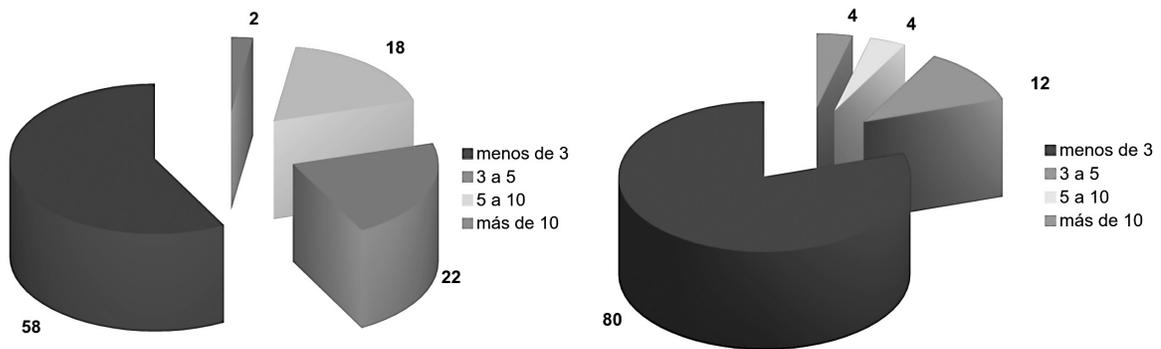
La figura 1 muestra el tamaño de las unidades productivas de las tres organizaciones. Para ASOPROAAA y AFAORCA, el porcentaje de unidades con más de 10 ha de cultivo es de 2,41% y 4%, mientras que las de menos de 3 ha es de 57,8% y 80%, respectivamente.

Por otra parte, en la misma figura se puede ver que los apicultores también son muy pequeños, pues solo el 21% tiene más de 120 colmenas.

El área cultivada de café por ASOPROAAA es de 310,6 ha, con un promedio de 3,75 ha por productor. La producción total es de 7149,5 fanegas para un promedio de 23 fanegas por ha, levemente inferior al promedio nacional de 25,4 fanegas por ha.

AFAORCA lidera el proceso de producción de la caficultura orgánica en la subregión, en la cual participan 25 productores de Aserrí, Acosta, Desamparados, León Cortés y Barva. De acuerdo con la información suministrada por los asociados, el área total de café orgánico es de 56,7 ha, con un promedio de 2,25 ha por productor. La producción total de café orgánico es de 767 fanegas, para un promedio 13,5 fanegas por ha. Esto muestra que la actividad tiene la misma tendencia con respecto a la actividad cafetera convencional, pues se mantiene en manos de pequeños productores.

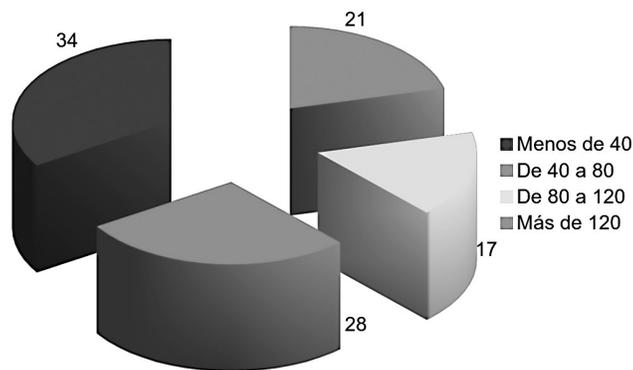
De esta forma, la información muestra una tendencia que coincide con la información nacional: la mayoría de los productores concentra volúmenes de producción por finca inferiores a 100 fanegas (ICAFE, 2012).



a. ASOPROAAA

b. AFAORCA

i. Porcentaje de productores por rangos de área cultivada en hectáreas de café. Acosta, San José. 2013.

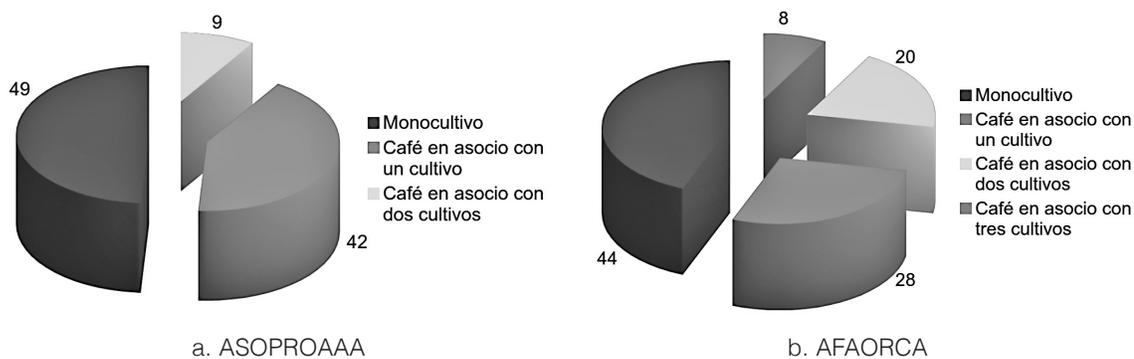


c. APICARAIGRES

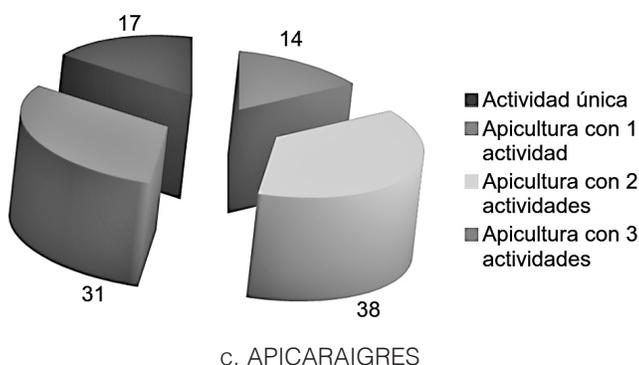
ii. Porcentaje de productores por rango de colmenas. Acosta, San José. 2013.

Figura 1. Distribución porcentual de los productores por tamaño de la actividad de las tres organizaciones. Acosta, San José. 2013.

En la subregión Caraigres, gran parte de los apicultores los concentra APICARAIGRES, que está conformada por 29 productores de Aserrí, Acosta, Mora y Desamparados. Cuenta con 2493 colmenas y un promedio de 86 colmenas por productor. La producción total es de 203 estañones de 200 litros para un promedio de 16,3 litros por colmena, lo que equivale a 24,5 kg por colmena, suma inferior al promedio nacional de 30 kg por colmena. El valor de esta producción en venta al por mayor alcanza los 152 millones de colones anuales.



i. Porcentaje de productores de ASOPROAAA de acuerdo con el sistema de cultivo que desarrollan en sus fincas. Acosta, San José. 2013.



ii. Porcentaje de los sistemas de producción predominantes entre los asociados de APICARAIGRES. Acosta, San José. 2013.

Figura 2. Distribución porcentual de los productores según la forma de la actividad que desarrollan dentro de las tres organizaciones. Acosta, San José. 2013.

Los sistemas productivos predominantes entre los asociados son el café como monocultivo y el café en asocio con especies frutales y maderables o café arbolado, como se puede observar en la Figura 2. En ambos sistemas se han promovido las prácticas agroconservacionistas, lo que ha favorecido la sostenibilidad de los recursos naturales, en una zona donde la topografía y el clima son factores que inciden en la vulnerabilidad de los sistemas de producción.

El monocultivo es uno de los sistemas más comunes entre los asociados de estas organizaciones, con un 49% para ASOPROAAA y un 44% para AFAORCA. Se encuentra predominantemente en las áreas de mayor altitud, superiores a 1200 msnm, en las comunidades de la Legua, La Escuadra, Las Ceibas y Cedral, donde el comportamiento del cultivo es muy bueno y la calidad del fruto es excelente. En estas altitudes, las condiciones climáticas que predominan le permiten al cultivo un mejor desarrollo, lo cual le brinda algunas ventajas en cuanto al manejo de plagas y enfermedades. Por otro lado, se simplifican algunas labores, principalmente en la época de cosecha, con una maduración más uniforme y más concentrada en el tiempo, que contribuye a disminuir significativamente el uso de mano de obra.

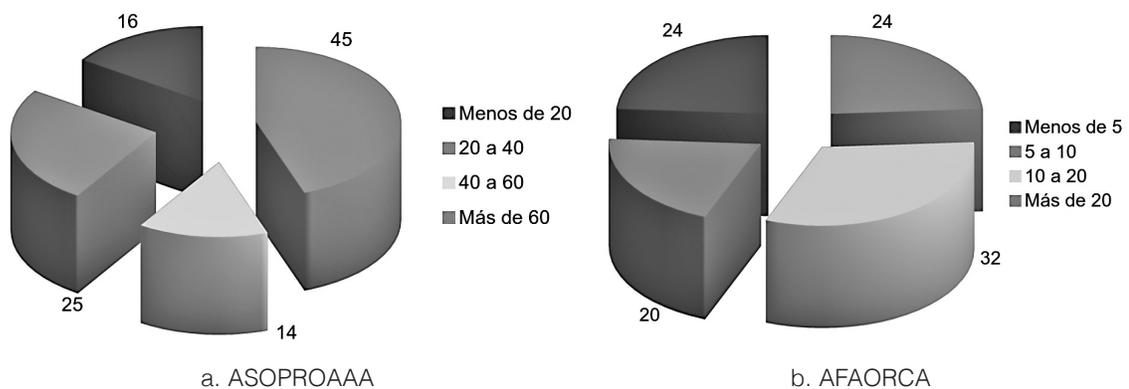
Los sistemas con cultivos asociados se ubican generalmente en altitudes desde 900 hasta 1200 msnm. En este sistema se encuentra el resto de los productores de la muestra, según se observa en la figura 2.

Por otra parte, los sistemas productivos predominantes entre los asociados de APICARIGRES son la apicultura como actividad única y la apicultura en combinación con otras actividades agropecuarias, como los frutales, la ganadería, el café y los forestales.

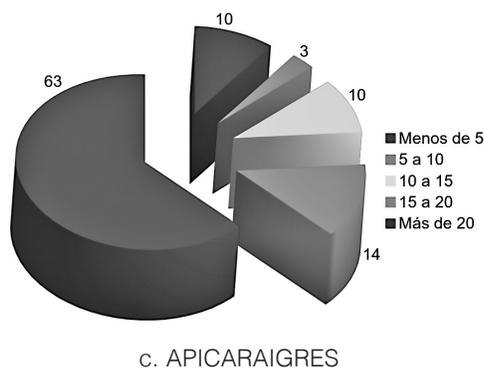
El 67% de los asociados considera la apicultura como la actividad prioritaria en sus sistemas productivos, porque requiere de poca área de tierra para su establecimiento y con un buen manejo genera ingresos suficientes para el sostén de la familia.

En la figura 3 se puede ver el nivel de producción que logran las unidades productivas de las tres organizaciones. En el caso de ASOPROAAA y AFAORCA, un porcentaje importante de las unidades logra una cantidad muy pequeña como para que el agricultor pueda subsistir de esa actividad. Para ASOPROAAA, un 41% de las unidades logra producciones de menos de 40 fanegas, mientras que para AFAORCA el 76% produce menos de 20 fanegas.

Asimismo, en la figura 3 se indica que existe un 63% de los asociados con producciones muy bajas, inferiores a cinco estañones, equivalentes a 1500 kg de miel, lo cual significa que los ingresos brutos por la actividad serían menores a los 3,5 millones de colones anuales. En estos casos, para que las familias puedan sostenerse, complementan los ingresos con otras actividades productivas. Muy probablemente el 17% de los productores, que generan cantidades superiores a los 15 estañones, son los que practican la apicultura como única actividad.



i. Porcentaje de fincas de los asociados por rangos de producción de café en fanegas. Acosta, San José, 2013.



ii. Porcentaje de los asociados de APICARAIGRES por rango de producción de miel ¿qué? en estañones de 300 kg. Acosta, San José, 2013.

Figura 3. Distribución porcentual de los productores por rango de producción. Acosta, San José, 2013.

Uno de los principales recursos para cualquier actividad agropecuaria es la tierra. En el caso de estas organizaciones, la mayoría de los terrenos que usan está en manos de los asociados, como se puede ver en el cuadro 1, lo que les brinda seguridad, autonomía e independencia para tomar las decisiones que crean mejor para su actividad.

Cuadro 1. Distribución porcentual de los agricultores por tipo de tenencia de la tierra de las tres organizaciones. Acosta, San José. 2013.

Tipo de tenencia de la tierra	ASOPROAAA	AFAORCA	APICARAIGRES
Propia	96,4	84,0	100,0
Alquilada	2,4	4,0	0,0
Otra	1,2	12,0	0,0

El agua es otro recurso fundamental para la producción; sin embargo, según el estudio, en el caso de ASOPROAAA solo el 62% de los productores posee este recurso dentro de su finca, mientras que el 76% lo tiene en sus parcelas en el caso de AFAORCA y el 72% en el de APICARAIGRES.

No obstante, cabe señalar que este factor no resulta tan limitante, gracias a que la zona cuenta con una distribución de lluvias que no obliga a utilizar riego. Además, resulta conveniente para la apicultura pues la etapa prolongada de bajas precipitaciones favorece la floración.

Otra característica importante a la hora de describir las unidades de estas agrupaciones y su agrocadena es la posesión de equipo agrícola. En el caso de las organizaciones de café se evaluó si los agricultores poseían bombas de fumigar, motoguadañas y bombas de agua. Se encontró que más del 90% tiene bombas para fumigar. Sin embargo, las bombas de agua son escasas, así como las motoguadañas. De hecho, solo el 50% posee este último instrumento agrícola. Para APICARAIGRES se evaluaron los mismos elementos, pero se incluyó la tenencia de máquinas centrífugas y tanques de almacenamiento. En dicha organización se encontró que no se diferencian de los cafetaleros en cuanto a tenencia de equipos como bombas de fumigar, bombas de agua y motoguadañas. No obstante, llama la atención que solo el 28% no cuenta con máquinas centrífugas y que el 59% tampoco tiene tanque de almacenamiento, lo cual indica que sus ventas se dan al momento de la cosecha de la miel.

Otros elementos evaluados son la infraestructura de las fincas, como caminos internos, bodegas o casetas para la extracción de miel. Más del 60% de los miembros de las tres asociaciones examinadas posee terrenos con caminos regulares, así como bodegas para almacenar productos de uso agrícola, y el 80% de los apicultores tiene una caseta de extracción.

La mayoría de los productores estudiados cuenta con vehículos. En este sentido, se encontró que más del 80% tiene al menos una unidad; sin embargo, en su mayoría son vehículos con más de 10 años de antigüedad.

También se evidenció que la mayoría de los agricultores depende del financiamiento externo para realizar mejoras sustanciales, por lo que el agricultor opta por otras fuentes de financiamiento o, en definitiva, no realiza ninguna mejora, en detrimento del sistema. El financiamiento lo obtienen de sus propias organizaciones y de la banca nacional.

Las organizaciones han instalado estratégicamente una serie de recibidores de café en las zonas más productoras y de mayor concentración de sus asociados. Esta red de recibidores les permite a los productores movilizar su producción de manera ágil y oportuna y garantizar el suministro de materia prima en cantidades, calidades y tiempo requeridos. El transportista traslada el producto del recibidor hasta el beneficio. En la época de recolección, el papel de los transportistas es estratégico para garantizar el abastecimiento de café al beneficio.

En el caso de los apicultores, los que cuentan con el equipo para extraer la miel madura de los panales realizan un proceso de decantación con el fin de limpiarla y eliminar algunas impurezas, como restos de cera y de abejas. Para realizar esta labor cuentan con una caseta de extracción. En ella tienen un aposento para almacenar la miel en estañones de acero inoxidable hasta que la trasladan al lugar de venta. También la empaacan en envases de diferentes tamaños, si su objetivo es venderla al detalle.

Por otro lado, los ingresos que reciben por su producto constituyen un parámetro fundamental por considerar, puesto que de estos depende la estabilidad de la actividad y el bienestar familiar. En este sentido, el factor más determinante es el precio; sin embargo, los mercados son los que lo definen y el productor no ejerce ninguna influencia sobre ellos.

En los componentes de procesamiento y comercialización es donde las organizaciones han realizado un gran esfuerzo, al enfocarse no solo en la fase productiva sino en darle un valor agregado a la producción de los socios. Esto se ha logrado, como en el caso de ASOPROAA, con la instalación de un microbeneficio donde se realiza la primera etapa de transformación del café. Además, para tener la capacidad de incursionar de manera directa en el mercado internacional, exportando café de calidad a granel, así como microlotes de café fino (de 25 y 30 fanegas) en mercados muy específicos con un precio diferenciado. Los asociados de ambas organizaciones entregan el café a sus organizaciones y, en el caso de AFAORCA, la totalidad de su producción (767 fanegas).

Conclusiones

Con base en los resultados de los diferentes aspectos analizados se obtuvieron las siguientes conclusiones:

1. La mayoría de los afiliados a las organizaciones en cuestión posee un área productiva muy pequeña que les genera un bajo volumen de producción, lo que dificulta la obtención de ingresos suficientes para solventar las necesidades básicas de la familia.
2. La diversificación de las fincas ha sido, para la mayoría de estos pequeños productores, la opción que les permite obtener otros ingresos que ayudan a mejorar su economía y atenuar las situaciones críticas que por épocas atraviesan algunas actividades productivas.
3. La mayoría de los afiliados cuenta con tierra propia, lo que les permite tener seguridad, independencia y autonomía para tomar las decisiones que crean convenientes para el manejo de su sistema productivo.
4. Las tres agrocadenas del estudio presentan características semejantes y que las muestran determinadas por el efecto de las agrupaciones, pues si estas no existieran serían débiles encadenamientos que harían muy difícil la comercialización de los productos y los agricultores muy probablemente no serían los propietarios de los predios.

Bibliografía

- Acosta, L. A. (2006). *Agrocadenas de valor y alianzas productivas: Herramientas de apoyo a la agricultura familiar en el contexto de la globalización*. Santiago: Oficina Regional de la FAO.
- Alvarado, A. (1984). *Manejo y Clasificación de Suelos Derivados de Cenizas Volcánicas de Costa Rica y Guatemala*. VI Congreso Agronómico Nacional, San José.
- Bourgeois, R. & Herrera, D. (1996). *Enfoque Participativo para el Desarrollo de la Competitividad de los Sistemas Agroalimentarios*. San José: IICA.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (1994). *Participación Campesina para una Agricultura Sostenible en Países de América Latina*. Depósito de documentos de la FAO. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/003/T3666S/t3666s00.htm#Contents>
- ICAFFE (Instituto del Café de Costa Rica). (2012). *Informe de la Actividad Cafetalera de Costa Rica*. San José.
- IDS Mideplan (Índice de Desarrollo Social, Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica). (2007). Área de análisis de desarrollo. San José.
- IICA (Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas). (2008). La experiencia de la Cooperativa Dos Pinos en Costa Rica. En *Boletines de la ACT*, Uruguay. Disponible en <http://www.iica.org.uy/b05-8.htm>
- Ortiz Malavassi, E. & Masís Garro, M. (2004). *Atlas digital de Costa Rica 2004*. Cartago, C.R.: Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Salazar, W. (1999). *La organización campesina para la comercialización agrícola*. (En línea). XI Congreso Nacional Agronómico. Costa Rica. Disponible en http://www.mag.go.cr/congreso_agronomico_XI/a50-6907-l_439.pdf
- Stockman, R. (2004). *Manual de Evaluación: Una Guía Práctica de Procedimientos*. Alemania: Universidad del Sarre.

Descriptorios botánicos para caracterizar germoplasmas de *Ricinus communis* de diferentes zonas de Costa Rica

Botanical descriptors for *Ricinus communis* germplasm characterization obtained from different Costa Rica's regions

Paola Solera-Steller¹, Ileana Moreira-González²,
Jesús Hernández-López³

Fecha de recepción: 29 de mayo del 2014
Fecha de aprobación: 16 de agosto del 2014

Solera-Steller, P; Moreira-González, I; Hernández-López, J.
Descriptorios botánicos para caracterizar germoplasmas de *Ricinus communis* de diferentes zonas de Costa Rica. *Tecnología en Marcha*. Vol. 28, N° 1, Enero-Marzo. Pág 37-46.

- 1 Escuela de Biología, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Bióloga, docente e investigadora con maestría en Biotecnología. Teléfono: (506)2550-9028. Correo electrónico: psolera@itcr.ac.cr.
- 2 Escuela de Biología, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Bióloga, docente e investigadora con maestría en Ecología. Teléfono: (506)2550-9028. Correo electrónico: imoreira@itcr.ac.cr
- 3 Ministerio de Agricultura y Ganadería Convenio MAG UCR Programa de Bioenergía. Universidad de Costa Rica. Costa Rica. Teléfono: (506)2433-9086. Correo electrónico: jesus_hernandez_lopez@yahoo.com

Palabras clave

Ricinus communis; descriptores; germoplasma; semillas; frutos; hojas; racimo; análisis de componentes principales; clasificación jerárquica ascendente.

Resumen

La higuierilla o ricino (*Ricinus communis*) es una planta oleaginosa utilizada en diferentes industrias debido a la alta calidad de sus aceites. Ante la problemática sobre el uso de los combustibles fósiles y la creciente necesidad de buscar fuentes alternativas de energía, el ricino muestra un alto potencial como materia prima para la producción de biodiésel. Países como Brasil, Ecuador, Venezuela, Colombia y México han realizado investigaciones dirigidas a mejorar variedades de esta especie que muestren niveles óptimos de producción y manejo para su industrialización. El presente estudio tiene como objetivo evaluar y seleccionar los descriptores botánicos y morfológicos adecuados para la caracterización del germoplasma de *Ricinus communis* proveniente de varias poblaciones de Costa Rica. Para esto se realizó un análisis de Estadística Descriptiva, un Análisis de Componentes Principales (ACP) y una Clasificación Jerárquica Ascendente (CJA) de 28 caracteres morfológicos (vegetativos y reproductivos) de 50 accesiones de higuierilla recolectada en nueve zonas de vida del país.

Los resultados mostraron valores significativos para la longitud del racimo y el número de frutos por racimo, la razón largo/ancho del fruto, peso del fruto, la razón del largo/ancho de la semilla y el peso de la semilla, con correlaciones superiores a un 45%. Sin embargo, el ACP mostró que existe una alta variabilidad entre los datos, algo muy común entre individuos silvestres, debido principalmente a su forma de dispersión y a la gran cantidad de zonas de vida muestreadas. Para la CJA, se pudieron observar tres grupos ordenados principalmente por las correlaciones entre el tamaño del racimo y el número de frutos, la razón largo/ancho y el peso del fruto y la razón largo/ancho y peso de la semilla, los cuales pueden usarse como indicadores para la caracterización morfológica de la higuierilla proveniente de todo el país.

Keywords

Ricinus communis; descriptors; germplasm; seeds; fruits; leaves; cluste; principal component analysis; hierarchical ascending classification.

Abstract

Castor's oil (*Ricinus communis*) is an oilseed plant. It's used in various industries due to the high quality of its oil. Faced with the problem of the use of fossil fuels and growing needs to find alternative energy sources, castor's oil shows high potential as a feedstock for biodiesel production. Countries like Brazil, Ecuador, Venezuela, Colombia and Mexico have been improving varieties of this specie presenting optimal levels of production and management research for industrialization. The major goal of this study was the evaluation and selection of botanical and morphological descriptors appropriated for germplasm characterization of *Ricinus communis* obtained from different country locations. Descriptive statistics analysis were performed including Principal Component Analysis (PCA) and Hierarchical Ascendant Classification (CJA) analysis of 28 morphological characters (vegetative and reproductive) from 50 accessions of castor's oil samples collected from nine Costa Rica' life zones. The results showed significant statistics values for length of cluster and number of fruits per cluster, length/width ratio fruit, weight fruit, length/width ratio seed and weight seed, all these with higher correlations values (>45%).

However, PCA showed high variability data, which is frequent among wild individuals; mainly due to their seed's dispersion mechanisms and the diversity of the different collected areas. CJA showed three main groups ordered by correlations between size and number of fruits, length/width ratio fruit, fruit weight, length/width ratio seed and seed weight, all these variables can be used as indicators for the castor oil morphological characterization for this country.

Introducción

Según un informe publicado por Earth System Science Data, para el año 2013 se produjo un aumento en las emisiones de CO₂ a un 2,1%, lo que implica un 61% por encima de los niveles de 1990, año de referencia del Protocolo de Kyoto. Estos resultados, que sugieren un aumento de los efectos decisivos del calentamiento global en el planeta y las actividades humanas, aunados a las consecuencias económicas y sociales que implica la reducción de las reservas probadas de petróleo, fortalecen las decisiones políticas en pro de investigaciones que buscan aumentar el uso y producción de energías alternativas renovables.

Además del aprovechamiento de la energía eléctrica, transformada a partir de la fuerza del viento, el agua o generada por la actividad solar, el uso de biomasa se perfila como una de las fuentes con mayor potencial para suplir las necesidades energéticas mundiales (Silva y Guimaraes, 2006).

Entre las fuentes alternativas de biomasa se cuenta con especies como colza, maní, maíz, palma africana y jatrofa. En Alemania, España, Brasil, Argentina, Colombia, Estados Unidos, India y Malasia existen experiencias con estos cultivos, siendo Alemania el país con mayor producción de biocombustibles del mundo y Estados Unidos el que más produce en América (Elbehri, Segerstedt y Liu, 2013).

Según datos de Johnson y colaboradores (2009), la higuera es una planta oleaginosa con uno de los más altos contenidos de conversión de aceite en biodiésel, casi duplicando el obtenido para la soja (ver cuadro 1.)

Cuadro 1. Conversión de aceite a biodiésel de cada cultivo o materia prima. Fuente: Johnston et al., 2009.

Cultivo	Conversión a biodiésel (l/ton)
Sésamo	440
Girasol	418
Ricino	393
Colza	392
Mostaza	370
Maní	309
Aceite de palma	223
Soja	183
Cocotero	130
Algodón	103

La higuierilla (*Ricinus communis* L) es un arbusto de la familia de las euforbiáceas que cumple las altas expectativas de la industria de los biocombustibles, ya que sus semillas presentan una alta concentración de aceites, del orden de hasta el 55%, una alta densidad, conservan su viscosidad a diferentes temperaturas, su congelamiento ocurre después de -10 °C (Ramírez, 2006) y tienen la capacidad de desarrollarse en ambientes áridos y semiáridos de zonas marginales (Mazzini y Rodríguez, 2009). Además, esta especie no atenta contra la base alimentaria de los pueblos, como es el caso de otros cultivos oleaginosos como el maíz (Botega et al., 2011).

Sin embargo, el uso de la higuierilla no se limita a su valor como biocombustible. *R. communis* ha sido cultivada por diferentes civilizaciones en zonas tropicales y templadas. Su centro de origen es Etiopía, debido a la gran diversidad de especies presentes en ese país (Severino et al., 2012). Entre sus usos industriales, los aceites de las semillas han sido aprovechados en la preparación de lubricantes, pinturas, aislantes eléctricos, líquidos para frenos, cosméticos, plásticos, barnices, tintas, ceras, nylon y en la producción de fibra óptica, productos farmacéuticos y perfumes. Todos estos usos se deben la composición lipídica del aceite de higuierilla, que presenta una mezcla de aceites neutros, lípidos polares, cerca de un 85%, ácidos grasos, esteroides y triacilglicéridos y aceites polinsaturados (Yuldasheva, Ulchenko y Glushenkova, 2002). Además, los residuos del proceso de extracción de aceites pueden introducirse en otros sistemas de producción, por ejemplo, en la industria agrícola como fertilizantes de suelos o como alimento para animales, gracias a su alto contenido de nitrógeno (Botega et al., 2011).

Para Costa Rica, un país en vías de desarrollo del trópico húmedo, se vuelve un desafío la generación de procesos productivos sostenibles que hagan uso de la diversidad de los recursos locales para producir fuentes de energía alternativa y desarrollar nuevas industrias. La higuierilla puede originar una cadena de negocios, tecnologías y productos con un alto potencial social, económico y ambiental (Mazzini y Rodríguez, 2009), que logren solventar una eventual crisis energética. La alta adaptación de la especie a sitios intervenidos, su resistencia a la sequía, un periodo de producción de 4-5 meses, la posibilidad de rotarla en conjunto con cultivos como frijol, linaza, maní o algodón y la calidad de los aceites son factores de gran interés para el desarrollo económico de este cultivo (Mazzini y Rodríguez, 2009; Sankpal y Naikwade, 2013).

De manera que resulta relevante recolectar, categorizar y conservar el germoplasma silvestre de *R. communis* presente en el país, con miras al mejoramiento de nuevos cultivares con potencial económico en cuanto a crecimiento, manejo y productividad.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar y seleccionar los descriptores botánicos y morfológicos para la caracterización del germoplasma de *R. communis* proveniente de diferentes regiones del país.

Materiales y métodos

Se recolectaron 50 accesiones de diferentes áreas del país, que incluyen ocho zonas de vida: bosque seco, bosque húmedo, bosque húmedo montano, bosque muy húmedo premontano, bosque muy húmedo montano bajo, bosque pluvial premontano y bosque premontano húmedo. Los individuos muestreados se encontraban solitarios o en poblaciones establecidas de forma espontánea a la orilla de carreteras, en patios, riberas de ríos o espacios abiertos entre 0 y 1400 msnm.

Las plantas fueron georreferenciadas y se evaluaron algunas de sus características en el campo; otras se analizaron en los laboratorios de la Escuela de Biología del Instituto Tecnológico de Costa Rica (cuadro 2).

Cuadro 2. Descriptores botánicos propuestos para la caracterización de *Ricinus communis*.

Descriptores propuestos	Tipo de característica	
	Cuantitativa	Cualitativa
Rendimiento		
Características botánicas		
Caracteres vegetativos		
Razón altura/grosor	X	
Razón ancho/largo de la hoja	X	
Forma de la hoja		X
Color de la hoja		X
Largo del peciolo	X	
Color del peciolo	X	
Presencia de pubescencia		X
Color de tricomas		X
Tamaño de glándulas	X	
Color de glándulas		X
Infrutescencia		
Inicio de floración	X	
Número de racimos por rama	X	
Número de frutos por racimo	X	
Longitud del racimo primario	X	
Forma del racimo	X	
Compactación de los frutos en el racimo	X	
Periodo de fructificación		X
Fruto		
Dehiscencia		X
Número de lóbulos	X	
Espinoidad		X
Color del fruto		X
Peso 100fr/g	X	
Peso del fruto	X	
Razón longitud de frutos/anchura de frutos	X	
Semillas		
Número de semillas por fruto	X	
Peso de la semilla	X	
Peso de 100 (P100sem, en g).	X	
Razón longitud de semilla/anchura de semilla	X	

El establecimiento de un banco de germoplasma del material recolectado se inició en la Estación Experimental Fabio Baudrit, de la Universidad de Costa Rica, en La Garita de Alajuela. La introducción se realizó por semilla directa, con una densidad de siembra de un metro por un metro. Se introdujeron inicialmente seis individuos por 100 accesiones muestreadas. Sin embargo, es necesario mejorar el sistema de siembra debido al impacto que tiene el nuevo ambiente sobre muchas de las plántulas en crecimiento y, posiblemente, sobre la calidad de la semilla.

El estudio de los caracteres se hizo con un Análisis de Componentes Principales (ACP) mediante la correlación de Pearson, en el cual cada uno de los 28 caracteres generaría un aporte para la determinación de la variabilidad presente entre los individuos evaluados. Sin embargo, algunos de ellos se mantuvieron constantes durante la investigación y al no generar una contribución se eliminaron, como es el caso del color de la hoja y el número de lóculos. También se eliminó el inicio de la floración, porque solo se hizo un muestreo por área.

Las accesiones también se evaluaron con el análisis de Clasificación Jerárquica Ascendente (CJA), para determinar la similitud entre ellas. Por último, se realizó una estadística descriptiva utilizando el Programa Estadístico XLSTAT (on line).

Resultados

Los resultados obtenidos mostraron una mayor variación tanto en los caracteres vegetativos como en los reproductivos. Para los primeros, las variables más significativa fueron la razón entre largo/ancho de la hoja y el largo del peciolo. Para los caracteres sexuales, las variables fueron el número de frutos por racimo, la longitud del racimo, la razón largo/ancho de fruto, peso del fruto y peso de 100 frutos, la razón ancho/largo de la semilla y el peso de una semilla. La correlaciones de los valores cuantitativos que indican significancia estadística ($p \leq 0,01$) fueron primordialmente positivas, con valores superiores a 65%. Para los caracteres vegetativos, la razón largo/ancho de la hoja y largo del peciolo mostró una correlación positiva perfecta. De las variables reproductivas y con el mismo grado de significancia, se observaron relaciones correlaciones positivas superiores a 45% para las variables número de frutos por racimo y longitud del racimo. Para las observaciones sobre el fruto, las correlaciones para la razón largo/ancho del fruto, el peso por fruto y el peso de 100 frutos, dieron valores interesantes; siendo la alta la correlación para el peso de un fruto (69%). En el caso de la semilla, la correlación fue más fuerte entre la razón del ancho/largo de la semilla por el peso unitario de la semilla, en el orden del 71%, pero ésta indicó un relación negativa. Las relaciones entre el sitio de muestreo y las variables evaluadas indicaron una correlación solo menor al 40%.

Mediante el ACP (ver cuadro 3) se observa que el primer componente (la razón del largo/ancho de la semilla) explica el 15,04% de la variabilidad, el segundo el 11,4% (el peso de la semilla) y el tercero el 9,49% (la longitud del racimo); lo cual, acumulado, representó el 36,4%. El valor del 80% indica la incidencia de hasta 10 variables que influyen en la variabilidad total.

Cuadro 3. Valores y variabilidad explicada por los componentes principales de 28 caracteres de plantas de higuerilla (*Ricinus communis* L.) de diferentes zonas de Costa Rica.

	Valor propio	Variabilidad (%)	% acumulado
1	3,152	15,007	15,007
2	2,403	11,445	26,453
3	2,016	9,602	36,054
4	1,904	9,067	45,121
5	1,562	7,438	52,559
6	1,421	6,766	59,325
7	1,292	6,153	65,478
8	1,189	5,662	71,139
9	1,124	5,352	76,491
10	0,845	4,024	80,515
11	0,767	3,651	84,167
12	0,705	3,355	87,521
13	0,578	2,752	90,274
14	0,476	2,265	92,538
15	0,422	2,010	94,548
16	0,349	1,663	96,211
17	0,304	1,447	97,657
18	0,219	1,045	98,702
19	0,163	0,775	99,478
20	0,110	0,522	100,000

El análisis de CJA indica una distancia del 54%, que marca una clara tendencia de los datos de establecer tres grupos. (figura 1) Las características ecológicas de las zonas de muestreadas, las características vegetativas y reproductivas con mayor incidencia sobre los grupos y los individuos de cada grupo se muestran en el cuadro 4.

Cuadro 4. Caracterización de los tres grupos establecidos por la CJA, para los valores muestrados en 50 accesiones de *R. communis* silvestre de Costa Rica

Grupo	Ambiente	Características vegetativas y reproductivas	Individuos
C1	Zonas altas con mayor humedad relativa y suelos fértiles (bosque premontano, bosque premontano bajo, bosque muy húmedo premontano, bosque pluvial premontano)	<ul style="list-style-type: none"> - Racimos cortos (29,35 cm) con 32,85 frutos - Frutos de mayor relación largo/ancho (1,15) con peso de promedio de 1,5 g - Semillas de mayor peso (0,37 g) y menor relación de altura/ancho (1,21) 	1; 4; 7; 12; 18; 19; 20; 21; 22; 24; 25; 26; 27; 29; 31; 36; 39; 41; 42; 43; 44; 45; 46; 47; 48; 49
C2	Zonas bajas o altas pero con humedad constante (bosque tropical y premontano húmedo montano bajo)	<ul style="list-style-type: none"> - Racimos más largos (34,35 cm) con más frutos (38,5 unidades) - Frutos con una relación largo/ancho (1,18), no significativa y con peso promedio de 1,16 g - Semillas de mayor peso (0,282 g) y menor relación de altura/ancho (1,33) 	2; 14; 15; 16; 28; 33; 34; 37; 38; 40
C3	Bosques de poca altura o bosque seco	<ul style="list-style-type: none"> - Racimos cortos (29,81 cm) con menos frutos (27,39 unidades) - Frutos con menor peso (0,99 g) y una mayor razón largo/ancho (1,19), no significativa - Semilla con un peso menor (0,14) y una mayor relación largo/ancho (1,60) 	3; 5; 6; 8; 9; 10; 11; 13; 17; 23; 30; 32; 35

Factores de alta importancia agronómica, como la dehiscencia del fruto, no mostraron valores de correlación o significancia estadística, ya que en su mayoría los frutos de las plantas recolectadas presentaron baja dehiscencia.

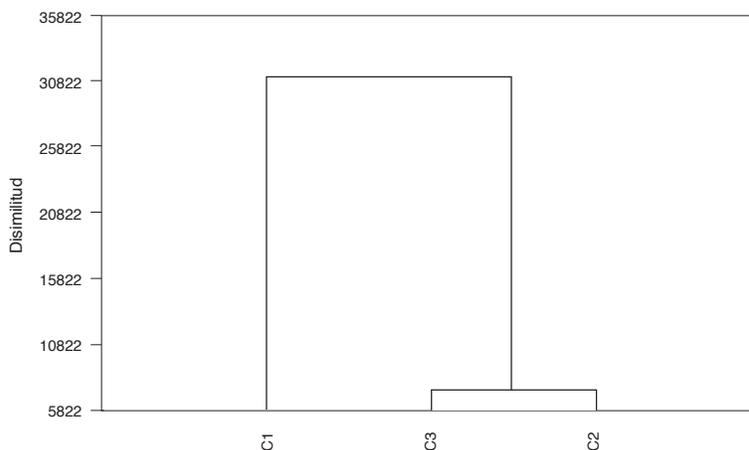


Figura 1. Clasificación jerárquica ascendente de 50 accesiones de la recolección de higuera (*Ricinus communis* L.) nativa de varias zonas de Costa Rica, para 26 caracteres vegetativos y reproductivos. Programa Estadístico XLSTAT (<http://www.xlstat.com/e>).

Otros caracteres cualitativos, como la densidad de los frutos en el racimo, la forma del racimo, la presencia de espinas del fruto, la serosidad y la presencia de tricomas, presentaron también una alta variabilidad entre las accesiones recolectadas y arrojaron valores de correlación menores a 40%.

Discusión

Los resultados indican una gran variabilidad para la mayoría de los caracteres evaluados, lo que es propio de materiales silvestres debido a su facilidad de polinización y dispersión (Dueñas y Uscocovich, 2012). Las características que mostraron una mayor significancia fueron la relación largo/ancho y peso de la semilla, al igual que la relación largo/ancho y peso del fruto, sin embargo, para ambas la correlación fue negativa en un orden superior al 40%. Mazzini y Rodríguez (2009) obtuvieron resultados similares en un material mejorado, proveniente del departamento de Lara en Venezuela y comparado con material brasileño que indicaba una alta productividad

Sin embargo, es evidente la alta variabilidad de los datos obtenidos en este estudio, lo que se refleja en el ACP, que muestra valores de 15,04% para el primer componente, 11,4% para el segundo y 9,49% para el tercero; con un acumulado final de 36,4%. El 80% de los datos implicó la relación de 12 variables de las variables estudiadas. Estos resultados indican de nuevo una alta variabilidad, debido sin duda a la gran capacidad de dispersión que presenta la especie (Dueñas y Uscocovich, 2012). No obstante, también puede estar relacionado con el amplio espectro geográfico que se tomó en cuenta durante la colecta realizada y que implica material ubicado entre 800 y 1300 msnm y ocho de las 12 zonas de vida del país (http://cglobal.imn.ac.cr/sites/default/files/documentos/diagnostico_biofisico_para_costa_rica..pdf 2014).

Los resultados obtenidos en la CJA formaron tres grupos claramente definidos, donde los factores decisivos fueron la relación largo/ancho de la semilla y peso de la semilla; la relación largo/ancho y peso del fruto y el largo del racimo con el número de frutos. De forma incidental, los grupos se pudieron ordenar por zona de vida, aunque este no fue un factor de correlación con un nivel menor al 40%. Sin embargo, se debe rescatar que la humedad, los suelos fértiles y la luminosidad del sitio son factores decisivos para el desarrollo de flores y el llenado de aceite de los frutos (Dueñas y Uscocovich, 2012). Muchas de las accesiones evaluadas se encontraron en este tipo de condiciones en bosques premontanos y montanos entre 800 y 1300 msnm, propios del Valle Central (http://cglobal.imn.ac.cr/sites/default/files/documentos/diagnostico_biofisico_para_costa_rica..pdf 2014).

Conclusiones

Según los datos obtenidos, es posible que la longitud del racimo, el número de frutos por racimo, la relación largo/ancho del fruto, el peso del fruto, la relación largo/ancho de la semilla y el peso de la semilla puedan ser empleados como variables para la caracterización de la higuera, ya que presentan correlaciones significativas entre las accesiones evaluadas y, según la literatura, pueden indicar alta productividad.

Bibliografía

- Botega Baldoni, A., Holanda, M., Lima, N., Barreto, M., Milani, M. & Lima, F. (2011). Variability of ricin content in mature seeds of castor bean. *Pesq. Agropec. Bras.* 46(7), 776-779,
- Carlson, D. & Pfeiffenberger, H. (2013). *Earth System Science Data (ESSD)*. Open Access – Public Peer-Review & Interactive Public Discussion. Obtenido de <http://www.earth-system-science-data.net/>

- Dueñas V. & Uscocovich, J. (2012) *Evaluación de 10 cultivares promisorios de Higuierilla (Ricinus communis L.)*. Tesis de grado Ingeniero Agrónomo. Universidad Técnica de Manabí, Ecuador. Obtenido de <http://repositorio.utm.edu.ec/bitstream/123456789/3410/1/EVALUACION%20DE%20DIEZ%20CULTIVARES%20PROMISORIOS%20DE%20HIGUERILLA%20RICINUS%20COMMUNIS%20L.pdf>
- ECOTEC. Consultoría Ecológica y Técnica de Costa Rica SA. PNUD-IMN-MINAET (Actual MINAE) (2009) Diagnóstico Biogeofísico para Costa Rica. Obtenido de http://cglobal.imn.ac.cr/sites/default/files/documentos/diagnostico_biofisico_para_costa_rica..pdf
- Elbehri, A., Segerstedt, A. & Liu, P. (2013). *Biofuels and the Sustainability: A global assessment of sustainability issues, trends and policies for biofuels and related feedstocks challenge*. Trade and markets division. Roma: Food and Agriculture Organization (FAO). Obtenido de <http://www.fao.org/docrep/017/i3126e/i3126e.pdf>
- Johnston, M., Foley, J. A., Holloway, T., Kucharik, C. & Monfreda, C. (2009). Resetting global expectations from agricultural biofuels. (En línea). *Environmental Research Letters*, no. 4. Obtenido de http://www.iop.org/EJ/article/1748-9326/4/1/014004/erl9_1_014004.pdf?requestid=f7eaac1d-97fb-4eee-bf7d-5e47648f07ea
- Mazzani, E. & Rodríguez, E. (2009). Estudio de la variabilidad presente en germoplasma de tártago (*Ricinus communis L.*) en cuanto a racimos, frutos y semillas. *Revista UDO Agrícola* 9(4), 764-769.
- Sankpal, S.T. & Naikwade, P. V. (diciembre, 2013). Important Bio-fuel Crops: Advantages and Disadvantages. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 4(12).
- Severino, L., Auld, D., Magno, M., Cândido, J., Chen, G., Crosby, W., Tan, D., Xiaohua, H., Lakshamma, P., Lavanya, C., Machado, O., Mielke, T., Milani, M., Miller, T., Morris, J., Morse, S., Navas, A., Soares, D., Soffiate, V., Wang, M., Zonota, M. & Zieler, H. (2012). A Review on the challenges for increased production of castor. *Agronomy Journal*, 104(4), 853-880.
- Silva, P. C. G. da & Guimaraes F., E. (2006). Agricultura familiar na dinâmica da pesquisa agropecuária. (Ed. I.S.F. de Sousa). Tecnológico da ecorregião Nordeste. En *Embrapa Informação Tecnológica*. Brasilia.
- Vega, O. (Ed.). (2010). *Atlas de la agroenergía y los biocombustibles en las Américas: II Biodiésel*. IICA, Programa Hemisférico en Agroenergía y Biocombustibles. San José: IICA.
- XLSTAT. Registrared trademark of Addinsoft SARL. Microsoft Corporation in the United States and/or other countries. Obtenido de <http://www.xlstat.com/en/>
- Yuldasheva, N. K., Ulchenko, N. T. & Glushenkova, A. I. (2002). Lipids of *Ricinus communis* seeds. *Chemistry of Natural Compounds*, 38(5), 413-415.

Larval stage prediction model of *Spodoptera frugiperda* collected in fig (*Ficus carica*) and discovery of *Apanteles* sp. as its parasitoid

Desarrollo de un modelo de predicción del estado larval en *Spodoptera frugiperda* y hallazgo de *Apanteles* sp. como su parasitoide, colectados en el cultivo del higo (*Ficus carica*)

Alexander Schmidt-Durán¹, Vladimir Villalba-Velásquez¹, Randall Chacón-Cerdas¹, Kaleb Martínez¹, Dora Flores-Mora¹

Fecha de recepción: 22 de mayo del 2014
Fecha de aprobación: 7 de setiembre del 2014

Schmidt-Durán, A; Villalba-Velásquez, V; Chacón-Cerdas, R; Martínez, K; Flores-Mora, D. Larval stage prediction model of *Spodoptera frugiperda* collected in fig (*Ficus carica*) and discovery of *Apanteles* sp. as its parasitoid. *Tecnología en Marcha*. Vol. 28, Nº 1, Enero-Marzo. Pág 47-58.

¹ Biotechnology Research Center, Costa Rican Technological Institute. P.O. Box 159-7050, Cartago, Costa Rica. Phone: (+506) 25509163 / (+506) 70144735. Fax: (+506) 25502479. Contact e-mail: aschmidt@itcr.ac.cr

Keywords

Apanteles sp.; larval stages; life cycle; parasitism; *Spodoptera frugiperda*.

Abstract

Spodoptera frugiperda (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), or the fall armyworm, is a voracious, polyphagous insect that forms large populations and has a high spread rate. This species is considered an extremely dangerous plague; one of the most destructive in the American continent. One of the main insects, found in Costa Rica that damages fig crops is *S. frugiperda*. This research was aimed to develop a prediction larval-stage model of *S. frugiperda* and determine the effectiveness of *Apanteles* sp. as a parasitoid. Both organisms were collected in fig plantations. To achieve this, eggs were collected and then breeding stocks were established. Stocks were bred for 38 days at 24°C and 70% relative humidity, identifying the lepidopteran as *S. frugiperda* by a taxonomist. We determined significant differences between the larval stages according to size, and established a quadratic prediction model. Also, we determined a Spearman correlation of 0.627 between the number of eggs laid per couple and the number of eggs hatched. Finally, *Apanteles* sp. (Hymenoptera: Braconidae) was identified as a parasitoid to the fall armyworm in fig.

Palabras clave

Apanteles sp.; estadíos larvales; ciclo de vida; parasitismo; *Spodoptera frugiperda*.

Resumen

S. frugiperda es un insecto polífago, voraz, que forma grandes poblaciones y tiene una alta tasa de dispersión, por lo que esta especie se considerada una plaga extremadamente peligrosa, siendo una de las más destructivas de América. Uno de los principales insectos que dañan al cultivo del higo encontrado en Costa Rica es *S. frugiperda*. Esta investigación tuvo como objetivo desarrollar un modelo de predicción del estado larval de *S. frugiperda* y determinar a *Apanteles* sp. como su parasitoide, ambos colectados en el cultivo del higo. Para esto se realizó una colecta de huevos en higo y se estableció el pie de cría determinando el ciclo de vida en 38 días a 24 °C y 70% de humedad relativa, identificando al Lepidóptera como *S. frugiperda*. Posteriormente, se realizó una correlación de Spearman entre el número de huevos puestos por pareja y el número de huevos eclosionados siendo esta de 0,627; además, se determinó que existen diferencias significativas entre los estadíos larvales de acuerdo al tamaño, estableciendo un modelo de predicción de carácter cuadrático. Por último, se identifica a *Apanteles* sp. como un parasitoide para el cogollero del maíz encontrado en el cultivo del higo.

Introduction

Spodoptera frugiperda (J. E. Smith), or the fall armyworm, belongs to the order Lepidoptera and the Noctuidae family. Due to its polyphagous behavior (Murúa et al. 2009), high voracity, ability to form large populations, and high dispersion rate, this species is considered a cosmopolitan pest, one of the most destructive in America (Murúa et al. 2003). The fall armyworm feeds on more than 60 species of plants, especially maize, rice, sorghum, grass, cotton, peanuts, alfalfa, oats, sugar, onions, beans, potatoes, tomato, wheat, soybean, castor oil plant, sesame, melon and sunflower among others (Carroll et al. 2006; Murúa et al. 2003; Zenner et al. 2007). Because it feeds on a diverse range of crops, this insect is being studied in many laboratories around the world, therefore, maintaining experimental populations and determining their life cycle are important aspects to consider when conducting research on natural enemies, resistance testing with new insecticide molecules and in the development of biotechnological research (Murúa et al. 2003).

According to Villa and Catalán (2004), the determination of various larval stages is a basic issue when constructing growth prediction models. These models are valuable tools to define a strategy for the control of pests. The biotechnological potential of natural enemies is, sometimes, unpredictable or uncertain, because, in many cases, biological cycles are unknown, and determined by environmental conditions and an ideal food requirement for normal development of the host and the bio-controller life cycle. The lack of knowledge of the requirements of beneficial biological organisms limits the implementation of a massive protocol for development in laboratory conditions.

Insect larvae undergo several molts during their development as a result of hormonal changes, which produce variations in size, behavior and morphology. The term stage indicates larval forms between successive molts, where different approaches have been proposed to identify them. Most of the stages are based on the relationship between larval cuticle and the size of various parts of the body (width and/or length of head or prothoracic shield). However, it is common to find the same value for head width in different larval stages (Villa and Catalán 2004).

As reported by Molina et al. (2003), biological control using parasitoids and predators can be very effective at low cost to replace synthetic insecticides, which unbalance the ecosystem, destroy beneficial organisms, and allow, in some cases, the development of resistant pest populations. Parasitoids are being used more frequently than insect predators in biological pest control of insects worldwide (Roomi et al. 1996). The Braconidae family is one of the most important groups of parasitic insects, which include a huge number of species that in many cases are efficient enough to make a significant impact in the biological control of many plant pests (Gözüaçik et al. 2008).

Apanteles, an insect that belongs to the Hymenoptera order, Apocrita suborder, Ichneumonoidea superfamily, and Braconidae family, is often used as a bioagent insect (Mehlhorn 2008). Numerous species of this genus have been reported. Roomi et al. (1996) described the biology and life cycle of *A. flavipes* and determined the life cycle and parasitism characteristics between Braconidae and the host larvae (*Bruchus chinensis* L.). That research reported an effective parasitic control that reached up to 45% in field populations, and proposed that *A. flavipes* is a viable option to control this pest. Other species, such as *A. taragamae*, have been used for biological control of *Maruca vitrata* (Lepidoptera, Crambidae), and pest insects of cowpea (*Vigna unguiculata*) (Dannon et al. 2010b).

Fig (*Ficus carica*) is a moraceous crop that produces a syconus fruit valued by many people over the world for its nutritional qualities and flavor. Fig cultivation occurs predominantly in temperature zones such as Spain, Turkey, Portugal, Chile and Argentina. Some of the most common pests and pathogens are the fruit fly (*Ceratitis capitata*), fig fly (*Lonchea aristella*),

fig flake (*Lepidosaphes fici*), fig cochineal (*Ceroplastes rusci*), and vector-borne viruses (Fig Mosaic Virus transmitted by *Aceria ficus*) (Flores et al. 2011). In Costa Rica, the cultivation of fig has increased, where most of the production occurs in the northern part of the Cartago province (Tierra Blanca, Prusia) (Flores et al. 2011). A major fig-damaging insect found in Costa Rica is *S. frugiperda*. This study was aimed to develop a model for predicting the larval stage of *S. frugiperda* and to determine the effectiveness of *Apanteles* sp. for biological control in fig.

Materials and Methods

Egg collection, establishment of a breeding stock and identification of the Lepidopteran

Collection

Egg masses located in the abaxial side of fig leaves were collected in a plantation located in Llano Grande, Cartago at 09°57'2.91" (± 2) north latitude and 083°55'9.01" (± 2) west longitude at 2188 meters above sea level, and in the Campo Frutícola of the Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR) located in Los Angeles, Cartago at 09°51'09.1" (± 3) north latitude and 083°54'25.4" (± 3) west longitude at 1405 meters above sea level. Egg masses were transferred to the Biocontrol Laboratory of the Centro de Investigación en Biotecnología (CIB) of ITCR and placed in transparent plastic containers with a volume of 60 ml under controlled environmental conditions (climate chamber) with a temperature of $24 \pm 0,1$ °C, $70 \pm 0.5\%$ relative humidity, and a photoperiod of 16 hours light and 8 hours dark.

Breeding stock and life cycle

After eggs have hatched, larvae were individually isolated in transparent plastic containers (volume: 60 ml), fed an artificial diet BIO-modified H-89 MIX (Doreste and Navarro 1982), and maintained in controlled environmental conditions as described above.

In the pupa stage, the larvae were kept in 500 ml, transparent plastic containers maintaining the same controlled environmental conditions. When adults emerged, 10 individuals were placed in paper bags (4000 cm³), labeled and set in the same controlled conditions to promote mating. A cotton boll impregnated with a 1:1 ratio of honey and water was placed in each bag, replacing the nectar for feeding adults. After 24 hours, the bags were opened, adults were removed and placed in a new bag, following the same procedure described above. Egg masses produced by the insects were removed and placed in clear 60 ml plastic containers until the emergence of the first instar larvae. This activity was repeated daily until all adults died. Once the lepidopteran breeding stock was established, adult insects were taxonomically identified at the Instituto Nacional de Biodiversidad (INBio) in Costa Rica.

Determination of fertility and hatchability of the Lepidopteran

Determination of fertility

After completing the lepidopteran life cycle, one male and one female were placed in a paper bag in the same controlled environmental conditions as described above, repeating this procedure until 30 couples were reached. For each mating, the number of eggs produced and the number of eggs hatched were counted. The time that females lasted in making the first oviposition and the time it took for the first hatching was recorded. Descriptive statistics of the studied variables were determined for fertility and hatchability of 30 mating couples.

A Spearman linear correlation analysis ($\alpha = 0.05$) was calculated using the number of eggs per pair, number of hatched larvae per couple, days after the first oviposition and days after the

first hatching, to determine important trends regarding the fertility of the species. Analysis was carried out using the statistical program Minitab® 16.1.0.0.

Because each larval stage presented different characteristics, the presence of hair per segment and coloring was determined for each stage. Due to the distribution of the data, a Kruskal-Wallis test ($\alpha = 0.05$) was applied to determine statistical differences between the medians of the phases in regards to size. Medians were contrasted using the Mann-Whitney U test ($\alpha = 0.05$). We also carried out a test of equal variances.

Development of a larval phase prediction model

A system of linear equations (linear, quadratic and cubic) and nonlinear (convex and sigmoidal) regressions were evaluated to establish a phase prediction model related to larval size assessed by the criterion of the lowest mean square error (MSE) and the lower variance (S), using the statistical software Minitab® 16.1.0.0.

Isolation and Identification of a Parasitoid

From the collections made, two larvae were selected from fig plants, located in the Campo Frutícola, with symptoms of parasitism. Larvae were manipulated using the same methodology for the establishment of the Lepidoptera breeding stock, and parasitic behavior and progress was observed. Five days after larval death, an opening was produced exposing gregarious pupae of the endoparasitoid insect, which were then placed in 500 ml plastic containers, keeping the same controlled environmental conditions described above until the adults emerged.

Adult parasitoids were kept in plastic containers and fed with honey and water in a 1:1 ratio that was applied in drops over the entire surface of the container. Three adult parasitoids were selected and then identified by specialists at INBio of Costa Rica.

Results

Egg collection, establishment of a breeding stock and identification of the Lepidopteran.

Six hundred twenty three larvae were isolated from the egg masses collected from the abaxial side of the leaves. A survival rate of 31.13% was recorded from a total of 194 larvae. The Lepidopteran life cycle took on average of 38 days to complete in controlled environmental conditions (Fig. 1). According to the taxonomic identification done by the specialist José Montero, the lepidopteran was identified as *S. frugiperda*.

Determination of fertility and hatchability of the Lepidopteran

Table 1 shows the average, standard deviation and Spearman correlation for the studied variables. It was determined that, on average, *S. frugiperda* larvae oviposits 502.53 eggs at about 2.88 days after mating, of which 303.75 are fertile and hatch about 6.13 days after being laid. Furthermore, we observed that for every 10 eggs laid per pair, 6.27 larvae hatched. For the other correlations performed, there is insufficient statistical evidence of correlation.

Based on the qualitative characteristics (Table 2) and larvae size (Fig. 2), it was determined that the insect presented five larval stages, where variability of insect size increases as larvae develop.

Statistical significant differences between each of the larval stages were determined for the mean and the median of the larvae size according to the stage. Furthermore, it was determined that as the larval stage increases, the size variability, the standard deviation, and the amplitude of the stage also increase (Fig. 2).

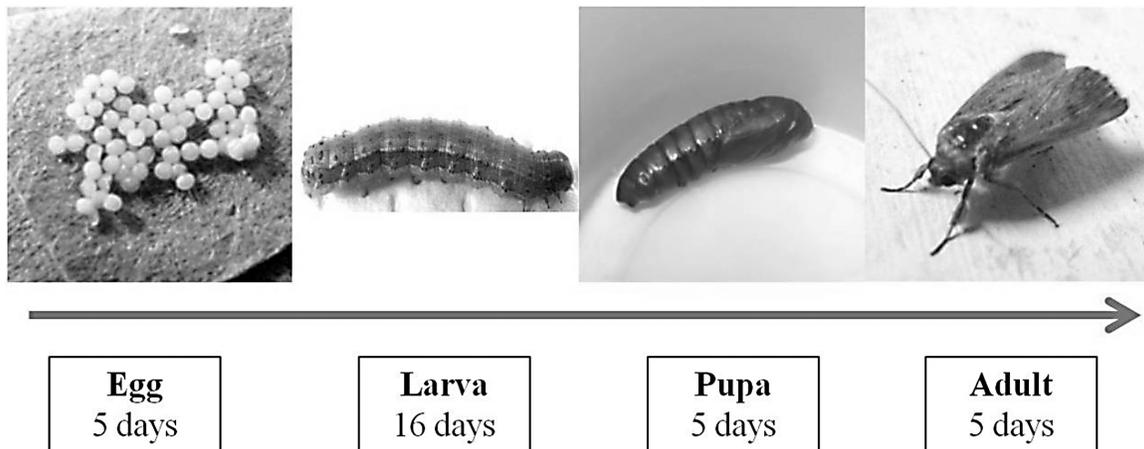


Figure 1. Life cycle of *Spodoptera frugiperda* under controlled laboratory conditions.

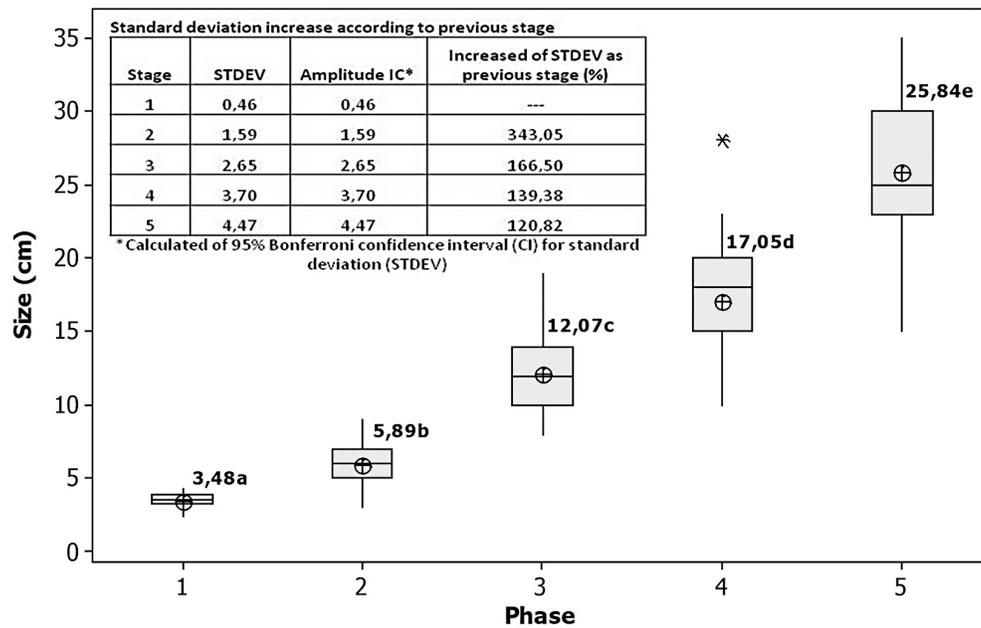
Table 1. Spearman correlation ($\alpha=0,05$) for studied variables of fertility and hatchability in *Spodoptera frugiperda*.

Variables	Average + standard deviation	Eggs per couple (units)	Larvae hatched per couple (days)	First oviposition (days)
Eggs per couple (units)	502,53 ± 368,32			
Larvae hatched per couple (units)	303,75 ± 268,79	0,627		
		0,001*		
First oviposition (days)	2,88 ± 1,68	-0,174	-0,311	
		0,416*	0,140*	
First hatching (days)	6,13 ± 4,57	-0,216	-0,487	-0,190
		0,422*	0,056*	0,482*

*P value for Spearman correlation.

Table 2. Qualitative characteristics of stages in Larval Phase.

Stage	Qualitative Characteristics
1	Translucent coloring to light yellow. Two hairs per segment
2	Light gray coloring. Two to four hairs per segment
3	Brown coloration on the back, dark gray on the underside. Four hairs per segment.
4	Brown coloration on the back, dark gray on the underside.
5	Brown coloration on the back, dark gray on the underside.



Kruskal-Wallis test with N= 184; H= 166.40 and P= 0.000 represented in the figure by boxplot.

Tukey test ($\alpha= 0.05$) with P= 0.000 represented in the figure by means.

Levene's test ($\alpha= 0.05$); statistic = 16.93 and P= 0.000 for homogeneity of variance in undefined continuous distributions.

Different letters indicate significant differences.

Figure 2. Equal variances, amplitude and size variability in each larval stage of *Spodoptera frugiperda*.

Different regression models, prediction equations, and P values per each evaluated regression were determined (Table 3). A quadratic regression is the best fit to the model, due to its lower mean square error and standard deviation with respect to the other regressions.

Table 3. Regression equations evaluated for larval phase prediction model based on size.

Regression	Equation	ECM	S	R ²	P value
Lineal	Size = - 3,782 + 5,556 Phase	10,4000	3,22716	85,9%	0,000
Quadratic	Size = 1,916 + 0,5970 Phase + 0,8323 Phase **2	8,5100	2,91691	88,5%	0,000
Cubic	Size = 2,047 + 0,411 Phase + 0,904 Phase **2 - 0,0080 Phase **3	8,5600	2,92497	88,5%	0,000
Convex 1 (Theta>0)	Size = 1 / (1 - 0,19236 * Phase)	62,1149	7,8813	--	0,000
Convex 2 (Theta>1)	Size = 1,94542 ^ Phase	16,0574	4,00717	--	0,000
Sigmoidal 1-parameter (Theta>0)	Size = 1 - exp(-Phase ^ 74,7642)	205,8180	14,3463	--	0,000

Isolation and Identification of a Parasitoid

Pupae and adult parasitoid collected from *S. frugiperda* larvae are shown in Fig. 3. The parasitoid was identified taxonomically as *Apanteles* sp.

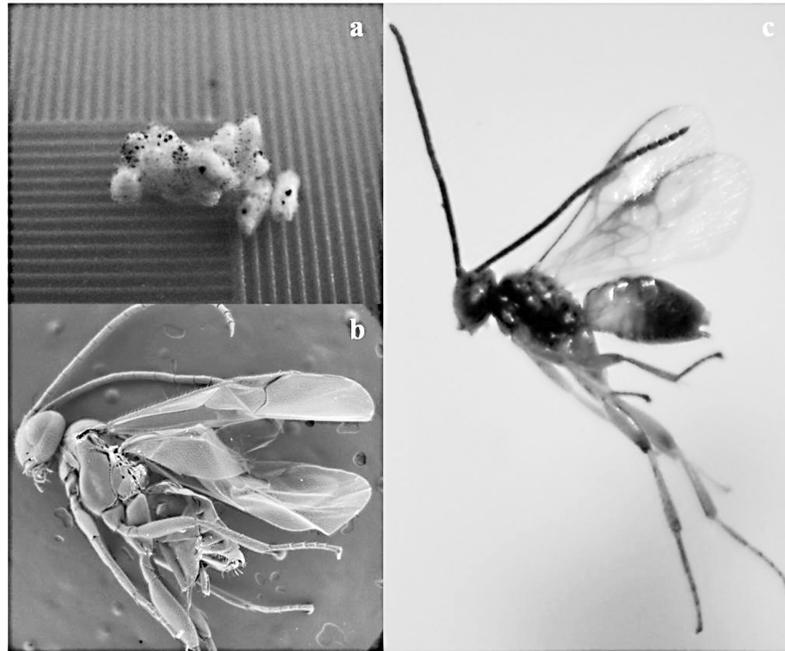


Figure 3. *Apanteles* sp. found in fig crops (*Ficus carica*). a- Obtained pupae from larval interior of *Spodoptera frugiperda*. b- *Apanteles* sp. adult observed in the Scanning Electronic Microscope TM-1000 Hitachi® at 250X. c- *Apanteles* sp. adult observed at stereoscope Meiji Techno® at 2.5 X.

Discussion

Egg collection, establishment of a breeding stock and insect identification

Murúa et al. (2009) determined the temporal and spatial distribution of larval populations of *S. frugiperda* in different hosts in Argentina. During three years of study, they found larvae in corn, grain sorghum, alfalfa and weeds. In grasses, such as corn and sorghum, the presence of the pest is considered endemic, which means there are always pest populations that cause damage to the crop in varying proportion. In other plants, the attack seems to be unpredictable. There are seasons where insect populations are not important, while other seasons require continuous monitoring, often even without success by the presence of high populations and tolerance or insect resistance to the chemicals used.

Casmuz et al. (2010) conducted a review of the armyworm hosts in America, finding a total of 186 hosts distributed in 42 families; Poaceae and Fabaceae families are among the most cited. The authors present only one report for the genus *Ficus* (commonly called rubber tree), however in that study, they found the incidence of *S. frugiperda* attacking fig (*Ficus carica*) in the northern part of Cartago, Costa Rica.

For the establishment of breeding stock, survival was about 31.13% of eggs collected, however these values do not match those found by Chacón et al. (2009), where 45 larvae were collected then introduced to the laboratory under controlled environmental conditions, and obtained a survival rate of 64.44%. Decreased survival rate obtained in this study could be due to the introduction of *S. frugiperda* eggs into the laboratory, not larvae, and the shift from uncontrolled climatic conditions to controlled environmental conditions.

For the establishment of breeding stock of *S. frugiperda* larvae, individual collection is recommended, because according to Chapman et al. (2000), many species of Lepidoptera larvae often practice cannibalism as a taxonomically widespread behavior, influencing population dynamics and community structure. Cannibalism is a common behavior in fall armyworms reared in laboratory, even when food is not a limiting factor, and can cause 40% to 60% of deaths.

In the study herein, the life cycle of *S. frugiperda* was determined in 38 days under light and temperature controlled conditions and using the modified BIO-MIX H-89 artificial diet (Navarro and Doreste 1982). However, Chacón et al. (2009) determined the armyworm life cycle in 47.40 ± 1.60 days under controlled environmental conditions using a diet of young corn leaves, but when using BIO-MIX H-89 artificial diet, the life cycle obtained was about 45.10 ± 1.20 days. According to Murúa et al. (2003), using artificial diets provide a complete food source easy to use, as long as all the necessary elements to enable the development are provided. These researchers concluded that diet has a significant influence on duration and mortality of individuals throughout the life cycle of *S. frugiperda*, and that an artificially-based diet on white bean flour, wheat germ, brewer's yeast powder, agar, ascorbic acid, sorbic acid, nipagin, formaldehyde and distilled water was the best diet evaluated because of the proportion of individuals who reached adulthood, the duration of the cycle life and the life expectancy average of individuals.

Nutritional factors affect physiology, behavior, ecology and evolution of insect species. The quality and quantity of consumed food during the larval phase affects the growth rate, development time, body weight and survival. This phenomenon also affects fertility and longevity of insect adults (Santos et al. 2003), and for that reason we worked with an artificial diet developed by Navarro and Doreste (1982), which contains known homogeneous nutritional values so they can directly influence shortening of the life cycle of *S. frugiperda*.

Temperature is another strong factor in the biology of the species, as mentioned by Clavijo et al. (1991). In the case of *S. frugiperda*, as most of the lepidopteran species, when temperature increased, the duration of each phase decreased, showing a life cycle of 26.8 days at 35.3 °C, 43.5 days at 25.0 °C, and larval death at 15.3 °C. In this study, a life cycle of 38 days was obtained under controlled temperature, humidity and a suitable artificial feed. Clavijo et al. (1991) concluded that although *S. frugiperda* is capable of withstanding constant temperatures within a fairly wide range, between 15 °C to 35 °C, its development, mortality and reproductive capacity are favored at temperatures ranging between 20 °C and 30 °C, with an average of 25 °C. Furthermore, Heinrichs et al. (2000) found that embryonic development of the armyworm takes 6 days at 20°C and 2 days at 30°C due to lower temperatures which favor enzyme activity reduction during physiological processes of insects, whereas high temperatures enhance metabolic activity, reducing life cycle time, as long as there are no stress caused by environmental or food factors.

Determination of fertility and egg hatchability

The average number of *S. frugiperda* eggs was 502.53 eggs per pair, with a fertility percentage of 60.44%. These data are consistent with those obtained by Clavijo et al. (1991) where a fertility value of 635.2 eggs was obtained; a fertility percentage of 64.9% at 25 °C. However, *S. frugiperda* females lay up to 200 eggs at a time, often exceeding the food resource capacity for the

survival of their offspring (Carroll et al. 2006). Important related studies have been performed, obtaining contrasting values with each other, which depend on temperature, humidity, and the armyworm isolation place (Navarro and Doreste, 1982; Clavijo et al, 1991; Chacón et al, 2009).

The Spearman correlation (0.627) indicated that there is a positive correlation between the number of eggs per pair in relation with the number of hatched eggs, where for every 10 laid eggs, 6.27 larvae hatched, which is consistent with the obtained fertility percentage.

Regarding larval stages, *S. frugiperda* usually has six larval instars (Villa and Catalán 2004), however these could vary according to the supplying diet. Murúa et al. (2003) evaluated the number and duration of *S. frugiperda* larval stages under different artificial diets based on white bean flour, corn flour, white corn pieces and rice, varying from six to eight larval stages and then determined a high larvae mortality using an artificial diet based on corn flour.

In another study by Santos et al. (2003), larval and pupal stages were determined at different maize genotypes, finding from 5 to 7 larval stages without differences related with maize genotype, where the fifth stage predominated. Similarly, Villa and Catalán (2004) established a breeding stock to develop a predictive model of *S. frugiperda*, however only 18% of larvae were able to reach the sixth stage, and the fifth stage was the most frequently obtained in laboratory. This study determined five larval instars using an artificial diet under controlled environmental conditions.

Santos et al. (2003) performed a regression analysis based on the *S. frugiperda* head capsule, where they determined that there were no significant differences between the first, second and third larval instar. The model presented was a linear regression of the stage over the natural logarithm of the head capsule size. On the other hand, Villa and Catalán (2004) developed a prediction model based on larval size and head width, demonstrating that as the insect grows there is greater variability of the head width. However, the head capsule size and the width of the head of the *S. frugiperda* larvae often have the same values for different stages, for this reason, in this study the prediction model was determined based only on the larval size.

To perform a prediction model, a Kruskal-Wallis variance analysis was made first, a Mann-Whitney test, and equality of variances. There were significant differences between all treatments, a result that is not consistent with that obtained by Santos et al. (2003) and Villa and Catalán (2004), as they found no significant differences in the early stages. Furthermore, it was determined that increasing the larval stage increases data amplitude and standard deviation, this could be because as larvae develop, other factors influence *S. frugiperda* growth such as genetic factors, adaptation to controlled environmental conditions, and the intrinsic biological behavior.

The proposed equation that predicts the size of the larval stage is quadratic and is expressed as:

$$\text{Size} = 1.916 + 0.5970 \text{ Phase} + 0.8323 \text{ Phase}^2$$

which was chosen because it had a large R^2 value, the lowest deviation and the least mean square error of all regressions. Moreover, qualitative characteristics like color and the number of hairs per segment provides a qualitative description that is complementary with the prediction model. Regarding pupal color, it was determined that white indicates an obteca immature pupa and that mahogany is an obteca mature pupa.

Isolation and identification of a Parasitoid

Different species of *Apanteles* have been used for biological pest control (Roomi et al. 1996; Takács et al. 1997; Whitfield et al. 2001; Sertkaya et al. 2004; and Dannon et al. 2010b). Potential agents of biological control, predators and parasitoids are classified as the most effective. Hymenoptera and Diptera are the orders that have the highest number of armyworm parasitoid species where there are reports of *Apanteles congregata*, *A. marginiventris* and *A. ruficurs*

(Molina et al. 2003). As mentioned by Vilaseca et al. (2008), species that have been recognized with higher parasitism over *S. frugiperda* are *Lespesia* sp., *Archytas mormoratus*, *Apanteles marginiventris*, *Campoletis* sp. *Chelonus insularis*, *Ophion* sp., and *Meteorus laphygmae*.

Vilaseca et al. (2008) determined a parasitism about 24.8% associated with rice and palm cultivations and about 28.1% associated with rice and forest with *A. marginiventris*. This species is an important parasitoid in the natural biological control of *S. frugiperda* larvae, because this parasitoid is characterized by its ability to attack armyworm populations when pest densities are low. Vilaseca et al. (2008) also mention that this species has a high capacity for movement and colonization. This study reports the discovery of *Apanteles* sp. as a parasitoid of *S. frugiperda* in fig cultivation in Costa Rica.

Conclusions

Under controlled environmental conditions, i.e. 24°C, 70% relative humidity and an artificial diet, the life cycle of *S. frugiperda* lasts 38 days in total. A Spearman correlation was established between the number of eggs produced per pair and the number of hatched larvae. A statistically significant quadratic equation was developed to infer larval stage based on size of each stage. Finally, it is reported that *S. frugiperda* is an insect that attacks fig cultivations in Costa Rica and *Apanteles* sp. is a possible biological controller of fall armyworm.

Acknowledgments

The researchers are grateful to the Vicerrectoría de Investigación y Extensión of Instituto Tecnológico de Costa Rica, to Ministerio de Ciencia y Tecnología, to the Comisión Nacional de Rectores and to the Consejo Nacional para Investigaciones Científicas y Tecnológicas, to Phd. Ramón Molina for the review and English translation of the article, so as to the Instituto Nacional de Biodiversidad with the specialists José Montero and José Manuel Solís.

References

- Carrol M, Schmelz E, Meagher R, Teal P (2006) Attraction of *Spodoptera frugiperda* larvae to volatiles from herbivore-damaged maize seedlings. *J Chem Ecol.* 32: 1911-1924.
- Casmuz A, Juárez M, Socías M, Murúa M, Prieto S, Medina S, Willink E, Gastaminza G (2010) Revisión de los hospederos del gusano cogollero del maíz, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Rev Soc Entomol Argent.* 69 (3-4):209-231.
- Chacón Y, Garita C, Vaglio C, Villalba V (2009) Desarrollo de una metodología de crianza en laboratorio del gusano cogollero del maíz *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) como posible hospedante de insectos biocontroladores de interés agrícola. *Tecnología en Marcha* 22 (4): 28-37.
- Chapman J, Williams T, Martínez A, Cisneros J, Caballero P, Cabe R, Goulson D (2000) Does cannibalism in *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) reduce the risk of predation? *Behav Ecol Sociobiol* 48: 321-327.
- Clavijo S, Fernández A, Ramírez A, Delgado A, Lathullerie J (1991) Influencia de la temperatura sobre el desarrollo de *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). *Agronomía Tropical* 41 (5-6): 245-256.
- Dannon E, Tamò M, van Huis A, Dicke M (2010a) Functional response and life history parameters of *Apanteles taragamae*, a larval parasitoid of *Maruca vitrata*. *BioControl* 55: 363-378.
- Dannon E, Tamò M, Van Huis A, Dicke M (2010b). Effects of volatiles from *Maruca vitrata* Larvae and caterpillar-infested flowers of their host plant *Vigna unguiculata* on the foraging behavior of the parasitoid *Apanteles taragamae*. *J Chem Ecol* 36: 1083-1091.
- Deng Y, Dong Y, Thodima V, Clem R, Passarelli L (2006) Analysis and functional annotation of expressed sequende tags from the fall armyworm *Spodoptera frugiperda*. *BMC Genomics* 7: 264-274.

- Flores D, Chacón R, Moreria L, Argüello F, Barboza S, Orozco R, Villalobos H, Albertazzi F, Montero M, Pérez A, Rosales J, Segreda A, Jiménez V, Buro R, Villalobos W (2011) El cultivo del higo (*Ficus carica*) en Costa Rica. 1º Ed. Publisher Universidad Estatal a Distancia. 138 p.
- Gözüaçik C, Erdo an Ö, Beyarslan A (2008) *Syringopais temperatella* Lederer, 1855 and its parasitoids in wheat and barley fields in the southeast Anatolian region of Turkey. *Phytoparasitica* 36 (5): 489-490.
- Heinrichs E, Foster J, Rice M, Molina J (2000) Insectos plaga del maíz en Norteamérica. University of Minnesota. Minnesota, USA. 340-341 pp.
- Mehlhorn H (2008) Encyclopedia of Parasitology. Third Edition. Vol. I. Publisher Springer-Verlag. Berlin, Germany. 103p.
- Minitab Inc. 2010. Minitab (software). Ver. 16.1.0.0.
- Molina J, Carpenter J, Heinrichs E, Foster J (2003) Parasitoids and parasites of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the Americas and Caribbean basin: an inventory. *Florida Entomologist* 86 (3): 254-289.
- Murúa M, Virla E, Defagó V (2003) Evaluación de cuatro dietas artificiales para la cría de *Spodoptera frugiperda* (Lep.: Noctuidae) destinada a mantener poblaciones experimentales de himenópteros parasitoides. *Bol San Veg Plagas* 29: 43-51.
- Murúa M, Juárez M, Prieto S, Gastaminza G, Willink E (2009) Distribución temporal y espacial de poblaciones larvianas de *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lep.: Noctuidae) en diferentes hospederos en provincias del norte de la Argentina. *Journal Rev Ind Agríc de Tucumán* 86 (1): 25-36.
- Navarro R, Doreste E (1982) Desarrollo de *Heliothis zea* (Lepidoptera: Noctuidae) sobre dietas natural y artificial. *Agronomía Tropical* 32 (1-6): 69-79.
- Nègre V, Hôtelier T, Volkoff A, Gimenez S, Cousserans F, Mita K, Sabau X, Rocher J, López M, d'Alençon E, Audant P, Sabourault C, Bidegainberry V, Hilliou F, Fournier P (2006) SPODOBASE: an EST database for the lepidopteran crop pest *Spodoptera*. *BMC Bioinformatics*. 7: 10 p
- Roomi M, Shah A, Qureshi S (1996) Studies on biological control of the Bean-Weevil (*Bruchus chinensis* L.) by *Apanteles flavipes* (Cam.) (Hymen., Braconidae). *Anz Schädlingsskde* 69: 37-38.
- Santos L, Redaelli L, Diefenbach L, Efrom C (2003) Larval and pupal stage of *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) in sweet and field corn genotypes. *Braz J Biol* 63 (4): 627-633.
- Sertkaya E, Bayram A, Kornosor S (2004) Egg and larval parasitoids of the beet armyworm *Spodoptera exigua* on maize in Turkey. *Phytoparasitica* 32 (3): 305-312.
- Takács S, Gries G, Gries R (1997) Semiochemical-mediated location of host hábitat by *Apanteles carpatus* (Say) (Hymenoptera: Braconidae) a parasitoid of clothes moth larvae. *Journal of Chemical Ecology* 23 (2): 459-472.
- Vilaseca C, Baptiste L, López A (2008) Incidencia de los márgenes sobre el control biológico natural de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) en cultivos de arroz. *Journal Corpoica-Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 9 (2): 45-54.
- Villa M, Catalán E (2004) Determinación de estadios larvales de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) para la construcción de un modelo de predicción. *Folia Entomol Mex* 43 (3): 307-312.
- Whitfield J, Cameron S, Ramírez S, Roesch K, Messinger S, Taylor O, Cole D (2001) Review of the *Apanteles* species (Hymenoptera: Braconidae) attacking Lepidoptera in *Bombus* (*Fervidobombus*) (Hymenoptera: Apidae) colonies in the new world, with description of a new species from South America. *Annals of the Entomological Society of América* 94 (6): 851-857.
- Zenner I, Arévalo H, Mejía R (2007) El gusano cogollero del maíz *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) y algunas plantas transgénicas. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 1 (1): 103-113.

Simulación del haz de electrones en un TEM como flujo de partículas cargadas

Simulation of the electron beam in a TEM as a charged particles flux

Alberto Hernández-Valle¹, Vanessa Valverde-Noguera¹,
Ignacio López-Gómez¹, Bruno Chinè-Polito², Ricardo
Esquivel-Isern², Juan Chaves-Noguera³

Fecha de recepción: 9 de junio del 2014
Fecha de aprobación: 26 de setiembre del 2014

Hernández-Valle, A; Valverde-Noguera, V; López-Gómez, I; Chiné-Polito, B; Esquivel-Isern, R; Chaves-Noguera, J. Simulación del haz de electrones en un TEM como flujo de partículas cargadas. *Tecnología en Marcha*. Vol. 28, N° 1, Enero-Marzo. Pág 59-70.

-
- ¹ Estudiantes de Ingeniería en Materiales, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correos electrónicos: 7albertoh@gmail.com; vvalverde05@gmail.com; eignaciolg@gmail.com.
 - ² Profesores, Escuela de Ciencia e Ingeniería de los Materiales, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: bchine@tec.ac.cr; resquivel@tec.ac.cr.
 - ³ Profesor, Escuela de Ingeniería Electrónica, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: jschaves@itcr.ac.cr

Palabras clave

Lente condensador; lente objetivo; simulación; haz de electrones; piezas polares.

Resumen

Se simuló el comportamiento de un haz de electrones en un Microscopio Electrónico de Transmisión (TEM) en función del voltaje de aceleración, la corriente de excitación de las lentes y la permeabilidad relativa de las piezas polares, por medio del *software* COMSOL Multiphysics versión 4.2a. Los resultados mostraron una baja velocidad vertical en los electrones dispersos, los cuales fueron filtrados por los diafragmas. Además, los gráficos expusieron que la densidad del flujo magnético aumentó con el incremento en la permeabilidad magnética de las piezas polares. Además, un aumento en la densidad del flujo magnético incrementó el ángulo de los electrones divergentes y redujo su velocidad vertical. Finalmente, las observaciones demostraron que el número de electrones que entran en el sistema no afecta el comportamiento general del haz ni la magnitud de la densidad del flujo magnético.

Keywords

Condenser lens; objective lens; simulation; electron beam; pole pieces.

Abstract

The behavior of an electron beam in a TEM was simulated as a function of accelerating voltage, excitation current of the lenses and relative permeability of the pole pieces, by the software COMSOL Multiphysics version 4.2a. The results showed a low vertical speed of stray electrons, which were filtered by the diaphragms. Moreover, the plots displayed an increase in the magnetic flux density with the increase of the magnetic permeability of the pole pieces. Furthermore, the outcome indicated that a boost in the magnetic flux density increased the angle of divergent electrons and reduced their vertical speed. Finally, the observations illustrated that the number of electrons at the inlet does not affect the beam overall behavior nor the magnetic flux density magnitude.

Introducción

En el mundo se invierten muchos recursos en investigación y desarrollo. El Microscopio Electrónico de Transmisión (TEM) constituye una de las mejores herramientas tecnológicas para la investigación. En el Tecnológico de Costa Rica (TEC) se cuenta con uno de estos equipos. Sin embargo, calibrar el haz de electrones es un procedimiento tedioso que hace necesario contar con experiencia para obtener una buena imagen. Por lo tanto, es importante comprender mejor el comportamiento del haz de electrones en el momento que pasa a través de las lentes electromagnéticas. Esta conducta se entiende mejor por medio de una simulación. Consecuentemente, se analizan los cambios en el comportamiento del haz debido a las variaciones de los parámetros físico-geométricos del sistema.

De acuerdo con la página electrónica del CERN, las partículas involucradas en las colisiones estudiadas en este laboratorio normalmente viajan en línea recta. Sin embargo, en presencia de un campo magnético su trayectoria se curva. Por lo tanto, se colocan electroimanes alrededor de los detectores de partículas para generar campos magnéticos con los cuales se puede calcular el momento de una partícula a partir de la curvatura de su trayectoria (una pista de su identidad). De manera similar ocurre en la columna de un TEM, porque las trayectorias de los electrones se curvan en presencia del campo magnético causado por los lentes (Williams y Carter, 2009).

El TEM utilizado posee varias lentes magnéticas y varios diafragmas que en conjunto ajustan el haz para lograr la imagen deseada. Sin embargo, las lentes objetivo-condensador son las más importantes (Wen-pin, Wu, Zhen, Li-jiang y Li, 2009). Estas son similares a una bobina o solenoide corto por los cuales fluye corriente eléctrica. Generan un campo magnético que pasa por el eje de su centro, el cual provoca que los electrones se crucen y se acerquen al eje (Fultz y Howe, 2008).

Según Fultz y Howe (2008), la lente condensadora se ubica sobre la muestra, define el diámetro del haz de electrones, limita su corriente al eliminar electrones con ángulos elevados y enfoca el rayo en el espécimen. Por ejemplo, si la corriente de la condensadora se incrementa, el haz se enfoca muy por encima de la apertura y una gran parte de él se pierde. El diafragma de la condensadora también elimina los electrones con ángulos elevados. Además, protege la muestra de la radiación excesiva y limita la cantidad de rayos x generados por los electrones que chocan con partes de la columna del microscopio (Fultz y Howe, 2008).

En su libro sobre el TEM, Williams y Carter (2009) explican que la lente objetivo es otra lente muy importante para ajustar el haz de electrones. Esta es la más fuerte y se encuentra inmediatamente debajo o alrededor de la muestra. Su importancia radica en que determina en última instancia la interacción entre los electrones y la muestra. El diafragma de este lente se encuentra inmediatamente arriba de la muestra. Las aperturas deben tener alta precisión en sus dimensiones y generalmente tienen un ángulo de inclinación en el espesor de su diámetro interno para optimizar su funcionamiento y evitar la dispersión de los electrones.

Además, las lentes magnéticas poseen extensiones polares hechas de un material con elevada permeabilidad relativa (Williams y Carter, 2009). La permeabilidad relativa es una medida de la capacidad que tiene un material de atraer y hacer pasar un campo magnético a través de él (Nave, 2000). Es el resultado de dividir la permeabilidad magnética del material entre la permeabilidad magnética del vacío. La permeabilidad elevada de las extensiones polares magnéticas comparada con la de los alrededores provoca que las líneas de campo se concentren en el núcleo de la lente y potencien la magnitud del campo que generan las lentes magnéticas. En consecuencia, la maximización alcanza aproximadamente 200 veces el campo generado con solo un núcleo de aire.

Métodos

Simulación

El TEM analizado es el modelo JEOL 2100, alcanza un vacío del orden de 10^{-5} Pa. Además, posee un elemento electromagnético en la columna que atrae los iones a su superficie. Por lo tanto, si algún ion permanece en el vacío, este va a ser retirado de la región de flujo de electrones. De esta manera, se pueden desprestigiar las colisiones entre partículas, ni siquiera se requiere aproximar estas colisiones utilizando un gas de fondo pues el flujo de electrones prácticamente no se expone a colisiones con otras partículas.

La simulación se realiza a partir del modelo resuelto disponible en la biblioteca virtual del *software* COMSOL Multiphysics 4.2a llamado *Magnetic lens*, de la interfaz *Charged particle tracing*. Por lo tanto, el fundamento teórico de la simulación es similar al del modelo resuelto. Consecuentemente, se verificó y complementó esta base teórica (COMSOL, 2011b).

Se incluye una geometría escalada a tres veces la del modelo base para que el dominio exponga las dimensiones adecuadas, con el objetivo de poder apreciar mejor los resultados. Se mantiene la proporción de diámetro sobre longitud, de manera que los elementos utilizados en el mallado sean semejantes en todas las direcciones. Esto permite utilizar el mismo tipo de mallado que el original. Así, los errores de las aproximaciones en todas las direcciones son similares. Además, el mallado se ajusta para que la calidad promedio del elemento sea mayor que 0,7 y que la calidad mínima presente el máximo valor para asegurar cálculos más acertados. Además, se utiliza el mallado predeterminado *free tetrahedral* y *free triangular*, pues se ajusta mejor a la geometría. Finalmente, la solución calculada converge con este tipo de mallado, por lo tanto se considera que es de buena calidad.

Además, los cálculos de la simulación se resuelven por medio del método de elementos finitos. Primero se calcula la densidad del flujo magnético por medio de la interfaz *magnetic fields* en un estudio estacionario. Con dicho cálculo se encuentra el comportamiento del flujo de electrones por medio de la interfaz *charged particle tracing* en un análisis transitorio. En consecuencia, en el tiempo cero no han salido las partículas, pero un tiempo inmediatamente después son liberadas. Así, se brindan diversas soluciones en intervalos de 20×10^{-12} s desde 0 s hasta alcanzar el tiempo final 500×10^{-12} s.

Las lentes magnéticas utilizadas en los microscopios de transmisión electrónica son solenoides cortos (Fultz y Howe, 2008). A pesar de que la lente magnética utilizada en el modelo no es un solenoide, se asume que es la lente adecuada porque cumple la función de variar la trayectoria de los electrones debido a un campo magnético que genera en su eje central. Entonces, el sistema en su totalidad cuenta con dos lentes magnéticas (objetivo y condensadora) y cada una posee un par de piezas polares.

Al escalar las magnitudes del modelo se tiene como prioridad la claridad de los resultados, con el objetivo de que el lector aprecie el comportamiento del haz. Los intervalos de tiempo del modelo no se toman en cuenta para el escalado de sus magnitudes, debido a que las partículas tienen más velocidad a causa del mayor voltaje. Este mayor voltaje provoca que las partículas tengan mayor velocidad y por lo tanto recorran más distancia en menor tiempo. Así, a pesar de la mayor dimensión del dominio, las partículas lo recorren en un tiempo similar al original.

En la simulación se establece una entrada de 10^4 electrones que se liberan en un solo tiempo desde el punto inferior de frontera (figura 1). Además, se establece una configuración estándar con respecto a la cual se comparan los resultados al variar ciertos parámetros. El resto de los parámetros físico-geométricos del sistema se mantienen constantes.

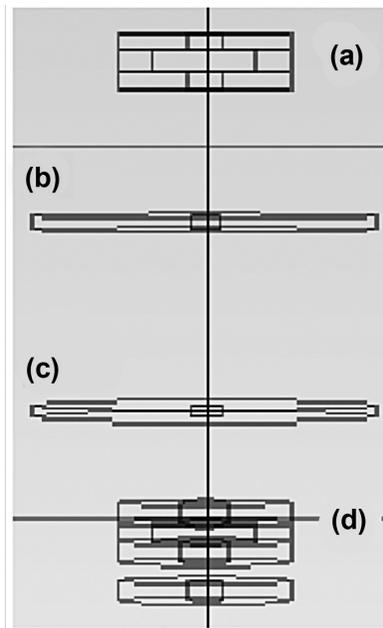


Figura 1. Geometría del modelo: (a) piezas polares y lente objetivo, (b) diafragma de lente objetivo, (c) diafragma de lente condensadora y (d) piezas polares y lente condensadora.

Tabla 1. Parámetros de la configuración estándar y rangos de variación.

Parámetro	Magnitud estándar	Rango de variación
Voltaje de aceleración	3 kV	1 a 9 kV
Corriente de excitación	0,45 A	0,15 a 1,35 A
Permeabilidad relativa	1	1 a 9

El voltaje de aceleración representa la energía de los electrones a la entrada del sistema. La velocidad de los electrones (v_{elec}) es función del voltaje de aceleración (v_{accel}) de acuerdo con la expresión:

$$v_{elec} = \sqrt{\frac{V_{accel} * carga_electrón}{masa_electrón}} \quad (\text{Ecuación 1})$$

La corriente de excitación de las lentes magnéticas (I_c) determina la densidad de corriente (J_c) presente en las lentes (ecuación 8). Luego J_c define la densidad de corriente externa generada (J_e). Finalmente, B se relaciona con J_e y con la permeabilidad relativa de los diafragmas (μ_r) por medio de la ecuación 7. Se comprende que B afecta la trayectoria de los electrones (Fultz y Howe, 2008). En consecuencia, la trayectoria de los electrones se modifica con I_c y μ_r . En síntesis, se considera que los parámetros físicos que afectan más al comportamiento del haz son V_{accel} , I_c y μ_r . Además, para simplificar el análisis, se establece que la corriente de excitación y la geometría de las lentes condensadora y objetivo son las mismas, de esta manera ambas poseen la misma densidad de corriente.

Ecuaciones generales que gobiernan el sistema

El movimiento de partículas cargadas en un campo electromagnético se describe a partir del Lagrangiano (COMSOL, 2011c):

$$L = -mc^2 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} + qA \cdot v - qV \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde v es la velocidad de la partícula [m/s], q es la carga de la partícula ($q = Ze$, donde Z es el número de carga y $e = 1,602176 \times 10^{-19} \text{ C}$ es la carga elemental), A es el vector de potencial magnético [Vs/m] y V es el escalar de potencial eléctrico [J/C].

Al transformar el Lagrangiano (ecuación 1) para bajas velocidades, después restar la energía sobrante y finalmente introducir el término de la densidad del campo magnético, se obtiene la ecuación del movimiento de una partícula cargada en un campo magnético. Esta constituye la ecuación de la fuerza de Lorentz (COMSOL, 2011c):

$$\frac{d}{dt}(mv) = q(v \times B) \quad (\text{Ecuación 3})$$

En esta ecuación, B es la densidad del flujo magnético [T].

Es importante señalar que se desprecia el efecto del campo eléctrico. Por lo tanto, no se encuentra el término “ $-qE$ ” en el lado derecho de la ecuación. De esta manera, la ecuación determina el acoplamiento entre los campos magnéticos y la trayectoria de las partículas cargadas.

De acuerdo con COMSOL (2011a), los problemas de electromagnetismo a nivel macroscópico se resuelven por medio de las ecuaciones de Maxwell sujetas a condiciones de frontera, a partir de las cuales se obtiene un sistema cerrado. Además, se deben incluir las relaciones constitutivas que describen las propiedades macroscópicas del medio. Así, se tienen las ecuaciones derivadas de las de Maxwell:

$$D = \epsilon_0 E + P \quad (\text{Ecuación 4})$$

$$B = \mu_0 (H + M) \quad (\text{Ecuación 5})$$

$$J = \sigma E \quad (\text{Ecuación 6})$$

donde E es la intensidad de campo eléctrico [V/m]. D es la densidad de flujo eléctrico [C/m²]. J es la densidad de corriente [A]. ϵ_0 es la permitividad del vacío. $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ [H/m]}$ es la permeabilidad de vacío. $M = \chi_m H$ es el vector de magnetización, se interpreta como la densidad volumétrica de momentos dipolares magnéticos; describe como un material es magnetizado en presencia de un campo magnético H [T]. P es el vector de polarización eléctrica, describe como un material es polarizado en presencia de un campo eléctrico E . Se interpreta como la densidad volumétrica de un momento dipolar eléctrico.

Dentro de las ecuaciones de Maxwell se encuentra la ley de Ampère para estado estacionario. A partir de esta ley, con los campos magnéticos constantes en el tiempo se obtiene la siguiente ecuación:

$$\nabla \times (\mu_0^{-1} \mu_r^{-1} B) = J_e \quad (\text{Ecuación 7})$$

Ésta relaciona la densidad de corriente externa generada J_e con la intensidad de campo magnético $H = (\mu_0^{-1} \mu_r^{-1} B)$. Además, se determina a partir de la densidad de corriente (J_c) en la bobina:

$$J_e = N I_c / \text{area} \quad (\text{Ecuación 8})$$

donde: N es el número de arrollamientos de la bobina e I_c es la corriente de excitación.

Resultados y discusión

Los gráficos presentan la velocidad vertical de los electrones (m/s). Además, la velocidad máxima y mínima en la escala corresponde a la velocidad máxima y mínima de los electrones en el haz. Los electrones se mueven de abajo hacia arriba. Finalmente, la discusión se enfoca en el comportamiento del ángulo (θ) que forma el haz de electrones con el eje vertical que atraviesa su centro. Esto se debe a que brinda información del grado de desviación de los electrones y así de su comportamiento.

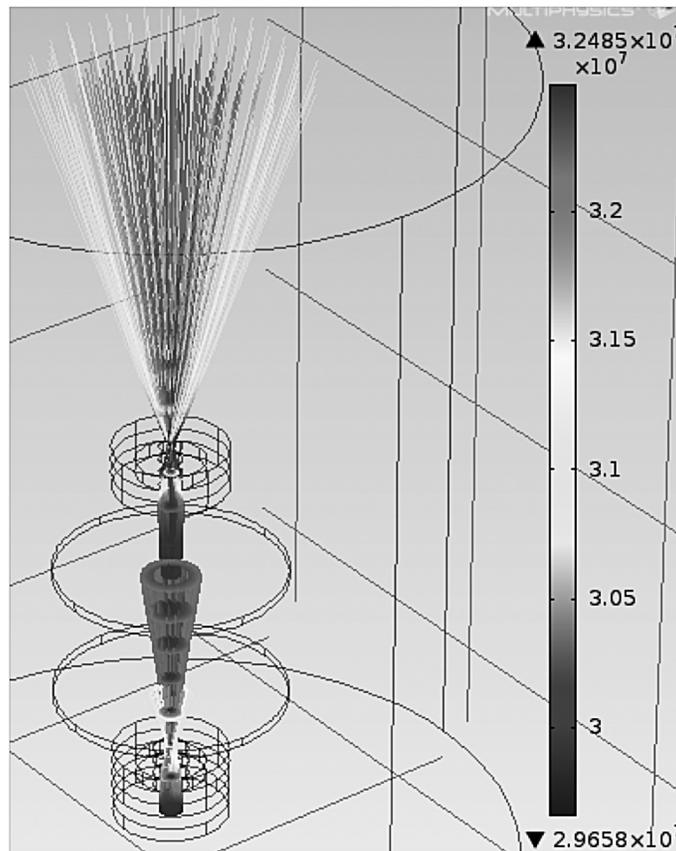


Figura 2. Configuración estándar.

En la figura 2 la velocidad máxima es de $3,2485 \times 10^7$ m/s y la mínima de $2,9658 \times 10^7$ m/s. Además, se aprecia un color claro en el perímetro del haz y conforme se acerca a su centro se torna más oscuro. Esto indica que los electrones con mayor ángulo (θ) con respecto al eje del haz presentan una menor velocidad vertical, comparada con la velocidad de los electrones que viajan por el centro del haz.

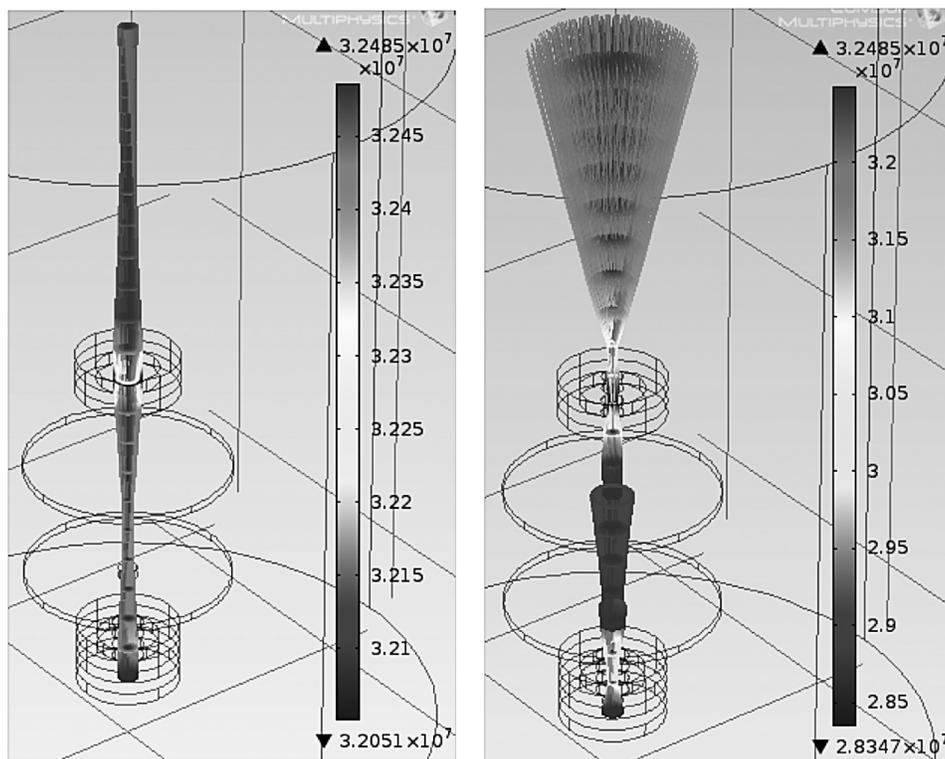


Figura 3. Corriente de excitación 0,15 A (izquierda) y 1,35 A (centro).

En la figura 3 se observa que al incrementarse la corriente de excitación aumenta el ángulo que forma el haz con su eje. Además, el gráfico de la figura 4 compara los datos de la simulación estándar con los de la figura 3.

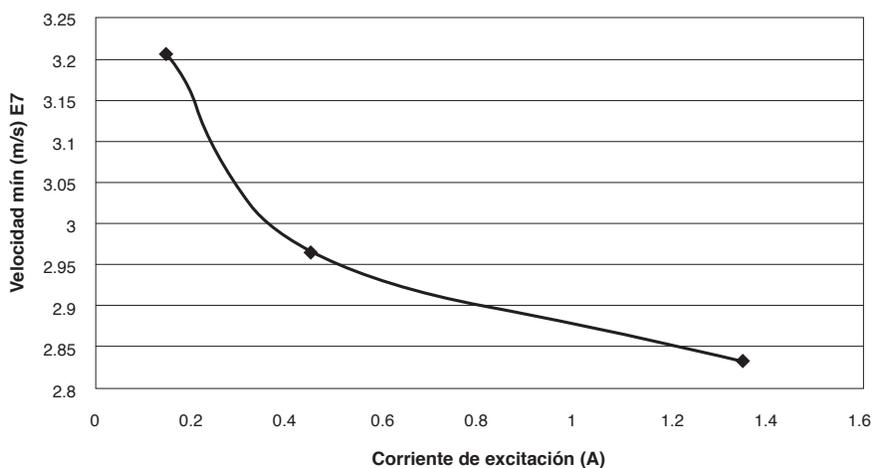


Figura 4. Gráfico de corriente de excitación contra velocidad mínima.

De acuerdo con las ecuaciones 7 y 8, el comportamiento se debe a que el incremento en la corriente de excitación provoca un aumento en la densidad del flujo magnético que desvía con mayor fuerza las trayectorias de los electrones (Fultz y Howe, 2008).

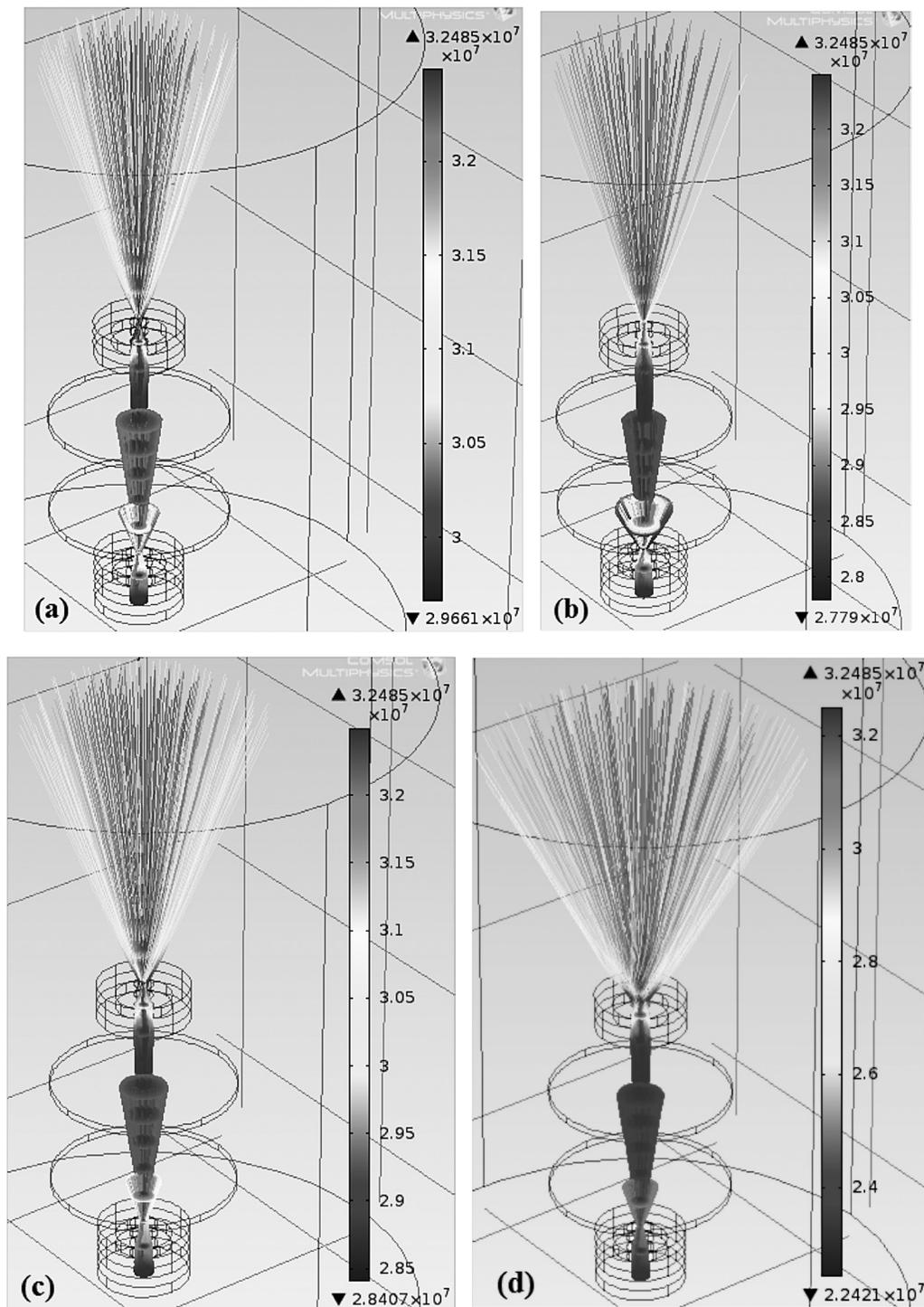


Figura 5. Piezas polares lente condensadora: permeabilidad relativa 3 (a) y 9 (b).
Piezas polares lente objetivo: permeabilidad relativa 3 (c) y 9 (d).

En la figura 5 se observa que al aumentar la permeabilidad relativa de 3 a 9 (200 %) se incrementa el ángulo de desviación de los electrones. Según la ecuación 7, este comportamiento es similar al teórico, puesto que al aumentar la permeabilidad relativa se incrementa la densidad del flujo magnético, el cual cruza los electrones con mayor fuerza (Fultz y Howe, 2008).

El gráfico (b) de la figura 6 muestra $2,8407 \times 10^7$ m/s para permeabilidad relativa 3 y $2,2421 \times 10^7$ m/s para permeabilidad relativa 9. Entonces se deduce un 21% de reducción en la velocidad mínima calculado así: $100 \times (2,8407 - 2,2421) / 2,8407$. Análogamente, del gráfico (a) se calcula un 6% de reducción en la velocidad. Por lo tanto, se aprecia que en la lente objetivo se potencia más el cambio de dirección que en la lente condensadora.

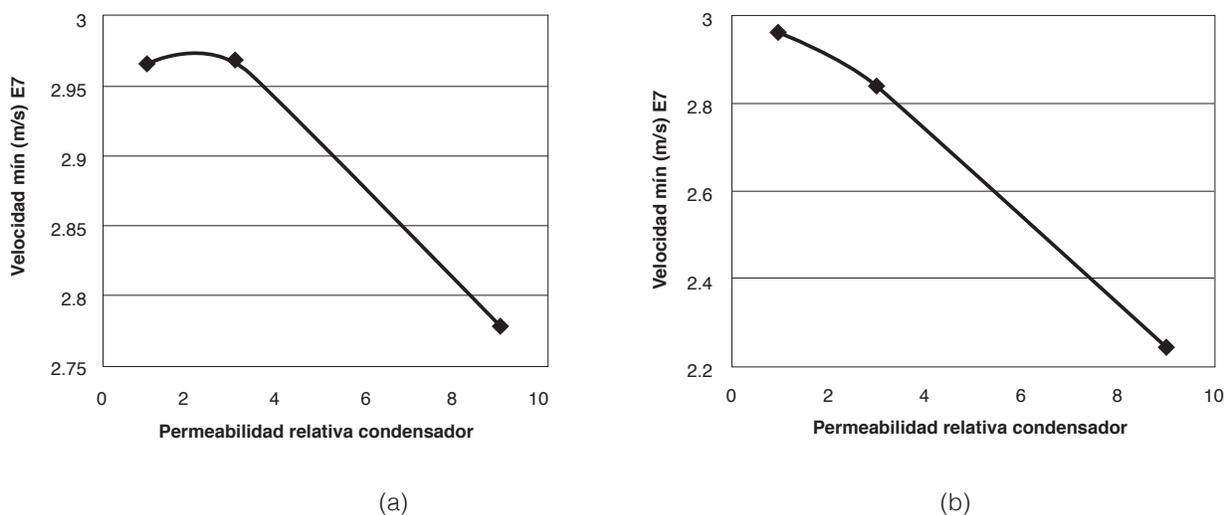


Figura 6. Gráfico de permeabilidad relativa piezas polares de lente condensadora (a) y objetivo (b) contra velocidad mínima.

Esto puede deberse al efecto que tiene la configuración geométrica del modelo sobre la densidad del flujo magnético alrededor de las lentes magnéticas. La geometría puede propiciar una mayor densidad alrededor de la lente objetivo. No obstante, esta hipótesis debe ser verificada por medio del análisis de la variación del flujo magnético con respecto a la configuración geométrica.

En la figura 8, la cumbre del haz de electrones está más cerca de la lente objetivo para un voltaje de aceleración de 1 kV que para 9 kV. Se destaca que todas las figuras de velocidades mostradas corresponden al mismo tiempo de $4,375 \times 10^{-9}$ s después de iniciada la simulación. Por lo tanto, se comprende que el haz de electrones correspondiente a 1 kV avanza con menor rapidez que el de 9 kV. Lo cual se hace evidente al estudiar la ecuación 7, la cual determina que un incremento en el voltaje de aceleración aumenta la velocidad de los electrones del haz.

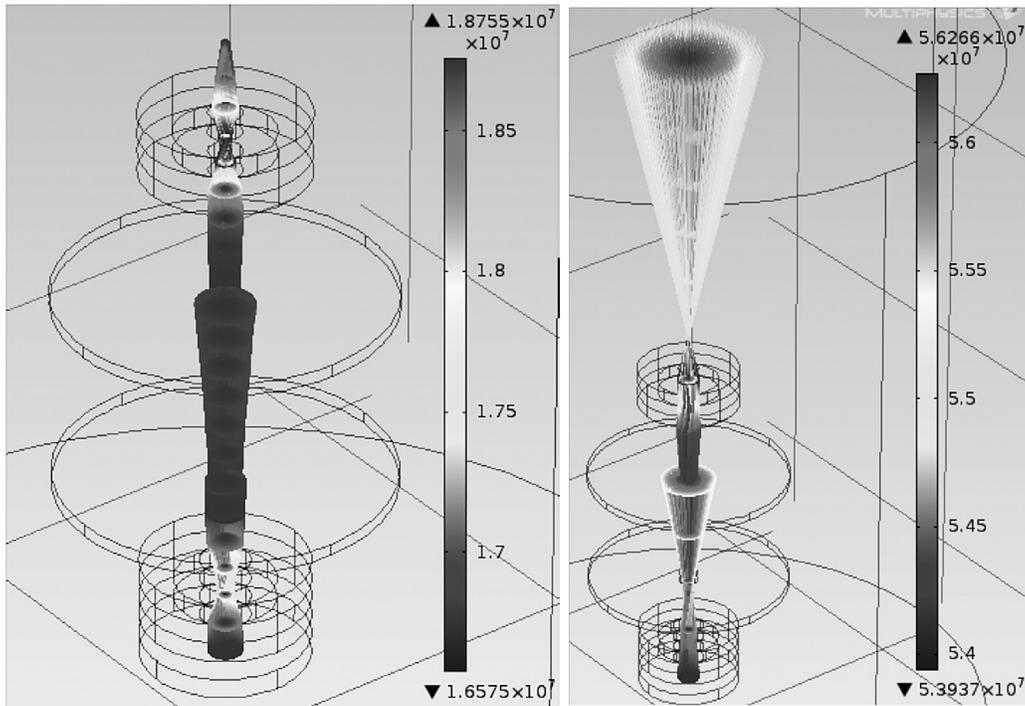


Figura 8. Voltaje de aceleración 1 kV (izquierda) y 9 kV (derecha).

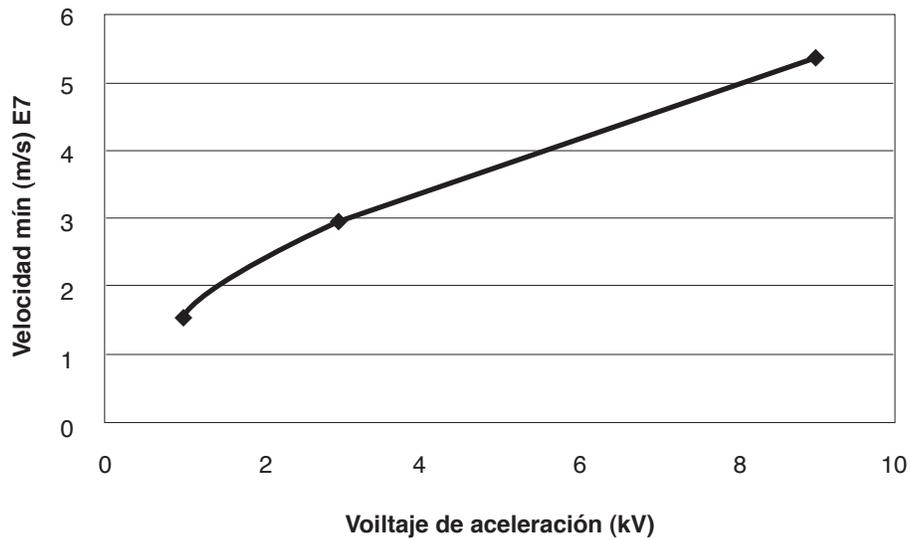


Figura 9. Gráficos de voltaje de aceleración contra velocidad mínima (izquierda) y contra densidad de flujo magnético máxima (derecha).

En las figuras 2, 3 y 5 se observa que todos los valores máximos de velocidad son $3,2485 \times 10^7$ m/s. En contraste, en la figura 8 exponen valores distintos. Por lo tanto, se puede inferir que entre los parámetros analizados solamente el voltaje de aceleración afecta la velocidad máxima que alcanzan los electrones en el haz. Esto se verifica al analizar la ecuación 1.

Conclusiones

El ángulo que forma el haz de electrones con respecto a su eje vertical (θ) es inversamente proporcional al voltaje de aceleración ($\theta \propto 1/V_{acel.}$). En contraste, este ángulo es directamente proporcional a la corriente de excitación de las lentes magnéticas ($\theta \propto I_{exc.}$) y también a la permeabilidad relativa de las piezas polares ($\theta \propto \mu_r$).

El ángulo es inversamente proporcional a la velocidad vertical de los electrones en el haz ($\theta \propto 1/V_{vert.}$).

Un incremento del 200% en la permeabilidad relativa de las piezas polares de las lentes condensadora y objetivo reduce la velocidad mínima en 6% y 21%, respectivamente. Por lo tanto, el modelo favorece la desviación de los electrones en la lente objetivo al aumentar la permeabilidad relativa por igual en ambas lentes.

La velocidad máxima de los electrones es proporcional al voltaje de aceleración, ningún otro parámetro analizado la afecta.

Bibliografía

- Central Microscopy Research Facility, University of Iowa. (n.f.). *Transmission Electron Microscopy*.
- CERN. (n.f.). *About CERN-Accelerators, Experiments, Physics*. Obtenido de <http://home.web.cern.ch/about/experiments>
- COMSOL. (2011a). *Introduction to AC/DC Module*. COMSOL Versión: October 2011 COMSOL 4.2a. Obtenido de <http://www.comsol.com/model/download/120723/IntroductionToACDCModule.pdf>
- COMSOL. (2011b). *Magnetic lens*. Versión: October 2011 COMSOL 4.2a. Obtenido de http://www.comsol.com/model/download/184181/models.acdc.magnetic_lens.pdf
- COMSOL. (2011c). *Particle Tracing and AC/DC Module User's Guide*. Versión: October 2011 COMSOL 4.2a.
- Fultz, B. & Howe, J. (2008). *Transmission Electron Microscopy and Diffractometry of Materials*. 3 ed. Springer.
- Goldstein, J., Newbury, D., Echlin, P., Joy, D., Lyman, C., Lifshin, E., Sawyer, L. & Michael, J. (2007). *Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis*. 3 ed. New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers.
- Rose, H. & Wan, W. (2005). *Aberration Correction in Electron Microscopy*. Proceedings of 2005 Particle Accelerator Conference, Knoxville, Tennessee, IEEE 05CH6723C (pp. 44-48). Obtenido de <http://accelconf.web.cern.ch/AccelConf/P05/PAPERS/WOAC001.PDF>
- Nave, R. (2000). *Ferromagnetism*. Departamento de Física y Astronomía de Georgia State University. Obtenido de <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/solids/ferro.html#c5>
- Wen-ping, L., Jian, W., Zhen, Z., Li-jiang, G. & Li, H. (2009). *Practical Integrated Design of a Condenser-objective Lens for Transmission Electron Microscope*. Journal of Physics: Conference Series 188 (2009) 012045. Obtenido de http://iopscience.iop.org/1742-6596/188/1/012045/pdf/1742-6596_188_1_012045.pdf
- Williams, D. B. & Carter, C. B. (2009). *Transmission Electron Microscopy. A Textbook for Materials Science*. 2 ed. New York: Springer Science+Business Media, LLC.

Sistemas de producción caprina y ovina en la subregión Costa Oriental del Lago de Maracaibo

Systems goat and sheep production in the coast sub region eastern of Lake Maracaibo

Cesar Timaure-Jiménez¹, José Alberto Pozo², Yuleidy Soto-Ysea³,
Anny Guerere-Morales⁴

Fecha de recepción: 23 de mayo del 2014
Fecha de aprobación: 14 de agosto del 2014

Timaure-Jiménez, C; Pozo, J.A; Soto-Ysea, Y; Guerere-Morales, A. Sistemas de producción caprina y ovina en la subregión Costa Oriental del Lago de Maracaibo. *Tecnología en Marcha*. Vol. 28, N° 1, Enero-Marzo. Pág 71-90.

- 1 Ingeniero Agrónomo, MSc. en Gerencia de Agrosistemas, Dr. En Ciencias Gerenciales, Docente Investigador de la Universidad Nacional Experimental Rafael María Baralt. Cabimas, Venezuela. Correo electrónico: cesartimaure@yahoo.com
- 2 Ingeniero Agrónomo, Coordinador del proyecto Agroalimentaria y Ambiental de la Universidad Nacional Experimental Rafael María Baralt. Cabimas, Venezuela. Correo electrónico: ecopozo@yahoo.com
- 3 Agronomo de Lafayette, Lic. En Administración, docente investigador del Programa Investigación de la Universidad Nacional Experimental Rafael María Baralt. Cabimas, Venezuela. Correo electrónico: yuleidysotoa@yahoo.com
- 4 Lic. En Educación Integral, docente investigadora del Programa Investigación de la Universidad Nacional Experimental Rafael María Baralt. Cabimas, Venezuela. Correo electrónico: akguerere@hotmail.com

Palabras clave

Caprinos; ovinos; costa oriental del lago; sistemas de producción.

Resumen

Para caracterizar los sistemas de producción caprina y ovina de la Costa Oriental del Lago de Maracaibo, se aplicó una metodología de investigación de acción participativa en las comunidades agrícolas del Municipio Simón Bolívar. Se consultaron líderes de la zona, al Equipo Zuliano de Criadores de Cabras y Ovejas, se aplicó un instrumento a 60 productores. La subregión COLM es zona petrolera, sin embargo, persiste la actividad agropecuaria arraigada en forma tradicional. En el Municipio Miranda existe una población de 16.137 caprinos y 7.526 ovejas, en Quisiro se analizaron 30 productores con 2.250 hectáreas, además de 1.300 caprinos y 675 ovinos. En Los Cilantrillos y La Esperanza se estudiaron 30 productores con 320 hectáreas, 375 caprinos y 430 ovejas, ocupando el 1 % del total regional, lo cual es importante por la persistencia e interés de los productores a pesar de las dificultades derivadas de la explotación petrolera. El grupo familiar se muestra participativo en el manejo de rebaños, el 88,3 % de los productores utiliza el pastoreo extensivo, hay tradición familiar, conocimiento de manejo de rebaños que pasa por cada generación, el 56,7 % están inscritos en la Misión Agro-Venezuela, las razas de cabra son principalmente nubian, alpina, criolla, en cuanto a ovejas, persa, mestiza o criolla, los productores trabajan más de 10 horas diarias los 7 días de la semana, el 56,7 % producen queso de cabra a puerta de finca para los mercados locales. Se recomienda continuar con los estudios y análisis participativos para el mejoramiento integral de este sistema productivo.

Keywords

Goats; sheeps; coast eastern of the lake; production systems.

Abstract

To characterize systems goats and sheep production in the Eastern Coast of Lake Maracaibo, a methodology of participatory action research in agricultural communities in the municipality Simón Bolívar was applied. Zone leaders were consulted, the Zuliano Team of Breeders Goats and Sheep, an instrument was applied to 60 producers. The COLM subregion's oil region, however, rooted in traditional agricultural activity persists. In the municipality Miranda exists a population of 16,137 goats and 7,526 sheep, in Quisiro 30 producers with 2,250 acres were analyzed, in addition to 1,300 goats and 675 sheep. In Los Cilantrillos and La Esperanza 30 producers with 320 hectares, 375 goats and 430 sheep were studied, occupying 1% of the regional total, which is important for the persistence and interest of producers despite the difficulties arising from oil exploitation. The family group shown participatory in herd management, 88.3% of farmers use extensive grazing, there are family tradition, knowledge management herds through each generation, 56.7% are enrolled in the Mission Agro-Venezuela, races are mainly nubian goat, Alpine, Creole, as to sheep, Persian, mestizo or Creole, producers work more than 10 hours a day, 7 days a week, 56.7% produce goat cheese in farm gate for local markets. It is recommended to continue studies and participatory analysis for the overall improvement of the productive system.

Introducción

El sistema agroalimentario mundial está sintiendo los rigores de las crisis que se instalan en cada país, por causas de los ajustes sociales, económicos, de orden administrativo o legal que influyen de diversas formas en las actividades de los grupos humanos. Sin embargo, la actividad agropecuaria continúa su curso basado principalmente en la tecnología, la tradición así como la cultura propia en cada pueblo.

Existen por ello, algunos rubros de la producción agroalimentaria, como la cría de caprinos y ovejas, los cuales se mantienen en todas las épocas, a pesar de los vaivenes inherentes al sector económico y social. Ello se debe fundamentalmente a una razón clave: la tradición familiar, el conocimiento que se transmite en cada generación, de padres a hijos, lo que a su vez está asociado con el ecosistema, la naturaleza con su estímulo para convivir, recrearse, preparar y trabajar con los rebaños.

El conocimiento que ha adquirido el Proyecto Investigación Agroalimentaria y Ambiental (PIAGROA), adscrito al Programa Investigación de la Universidad Nacional Experimental Rafael María Baralt, UNERMB, a lo largo de sus 21 años de su existencia está relacionado con la participación activa de las comunidades agrícolas de la subregión Costa Oriental del Lago de Maracaibo (COLM), que a pesar de la dificultades inherentes a la intensa labor de explotación de petróleo, conserva las tradiciones especialmente en lo referente a los sistemas caprino y ovino.

Es por ello, que se ha desarrollado este proyecto de investigación, tomando en cuenta dos regiones emblemáticas de la subregión como Quisiro en el Municipio Miranda y Tía Juana, en el Municipio Simón Bolívar, con gran tradición de producción caprina y ovina.

En Venezuela, la mayor actividad relacionada con la producción de ovinos y caprinos tradicionalmente se concentra en las zonas áridas y semiáridas de los estados Lara, Falcón y Zulia, se concentra la mayor actividad relacionada con la producción de ovinos y caprinos, ocupando estos rubros hasta un 80 % del total nacional y en una superficie de 41 mil Km² (García et al., 2009). En la zona rural de estos estados, existe este tipo de sistemas y constituye su modo de sobrevivencia, incluso como arte o forma tradicional de vida de los núcleos humanos, a pesar del acelerado agotamiento de los recursos naturales de cada ecosistema.

De acuerdo al VII censo agrícola del año 2008, existen unas 20 000 familias comprometidas con la producción caprina, con un rebaño total en Venezuela de 1 100 000 caprinos y 600 000 ovinos. En el Estado Zulia, existen aproximadamente 72 000 cabezas de ganado caprino y 195 000 de ovinos, por lo que el manejo de este rebaño tiene una importancia significativa en el quehacer económico de la región. Existen zonas específicas como el municipio Miranda y Simón Bolívar en la Costa oriental del Lago, donde la producción ovina y caprina adquiere dimensiones estratégicas por el volumen del rebaño existente así como por el impacto económico, cultural y ecológico en las zonas rurales.

Los caprinos y ovinos por su gran resistencia a las condiciones áridas y semiáridas constituyen un valioso rubro animal a estimar en su producción técnica con el fin de aprovecharlo aún más en la diversificación de la dieta de la población. La capacidad de la cabra y la oveja para consumir una mayor variedad y tipos de vegetación, normalmente no consumidas por otros rumiantes, y su mayor eficiencia digestiva sobre forrajes de baja calidad, son dos factores importantes que favorecen la producción de estas especies en áreas con baja disponibilidad de forrajes. Esto último otorga grandes ventajas al ganado ovino/caprino con respecto al bovino en cuanto a la conversión alimento / leche o carne, lo que hace que la explotación de estas especies sea una alternativa para los pequeños, mediano y grandes productores.

Sin embargo, es difícil distinguir, bajo el sistema de crianza de cabras y ovejas de Venezuela, si su verdadero propósito es producir leche o carne, salvo en aquellos casos de explotaciones de naturaleza intensiva o semi-intensiva con razas especializadas en producción de leche. La razón radica en que, debido a los bajos niveles de producción de las razas nativas, la cría está dirigida hacia el autoconsumo, buscando satisfacer las necesidades alimenticias del criador y su familia. Normalmente, los excedentes de leche son procesados en la explotación en forma rústica o artesanal, obteniéndose como producto final quesos y otros subproductos de baja calidad, que coloca el criador en el mercado local, obteniendo cierta cantidad de ingresos que coadyuvan en su subsistencia (Ciepe, 2010).

Tradicionalmente se ha asociado a la explotación de ganado ovino/caprino con las zonas deprimidas, poco desarrolladas y despobladas, como son las zonas áridas y semiáridas del norte costero en los estados Sucre, Nueva Esparta, Zulia y Falcón o las zonas secas del estado Lara. En estas zonas la explotación se ha limitado a un sistema de cría extensivo que se caracteriza por la ausencia casi total de control sobre el pastoreo de los animales, de prácticas de manejo sanitario, reproductivo y alimenticio, y la utilización de gran parte de la energía producida por el animal en la búsqueda de alimento y agua.

A nivel nacional, el Ministerio del Poder Popular para la Ciencia, Tecnología, ha promovido la creación de 652 redes socialistas de innovación productiva (RSIP) en todo el país, de las cuales existen en el Estado Zulia, dos redes de ovinos y caprinos, ubicadas en los municipios Mara y Guajira. En el sector Bachaquero, parroquia Las Parcelas del municipio Mara, se encuentra la parcela demostrativa, donde existe el proyecto de instalación del Centro de investigación local de ovinos y caprinos. De igual forma, en el sector Las Yeguas, de la parroquia Elías Sánchez Rubio, del Municipio Guajira, existe la otra red con parcela demostrativa.

Estas redes son importantes porque canalizan los esfuerzos del gobierno nacional en materia de financiamiento, seguimiento de proyectos, capacitación de productores entre otras actividades. En la subregión COLM existe un número importante de productores de ovinos y caprinos, especialmente en los municipios Miranda y Simón Bolívar, por lo que es pertinente la investigación de estos sistemas productivos, en función de buscar alternativas de mejoramiento.

El problema fundamentalmente consiste en el desconocimiento de las características actuales de producción en los sistemas caprino y ovino de la subregión COLM. Dicho conocimiento permitiría que los investigadores de instituciones públicas o privadas, a las organizaciones de productores, comunidades agrícolas y al sector público en general, definan las políticas de acción para avanzar en el desarrollo de este importante sector productivo a nivel subregional.

A nivel internacional, la Red FAO-CIHEAM (2010), indica que dos factores aparecen como determinantes en el funcionamiento y la sostenibilidad de los sistemas de producción ovina y caprina: i) el factor trabajo, ya sea en aspectos de disponibilidad de mano de obra, de cantidad y calidad de trabajo ligada a la actividad del pastor como de su productividad del mismo; y ii) el grado de dependencia de insumos de alimentación y su precio (concentrados).

Varios estudios han demostrado la utilidad de los rebaños en pastoreo en la prevención de incendios forestales, la conservación de la biodiversidad y el paisaje cultural o el almacenamiento y fijación de carbono en los pastos. Es necesario que se valoren las externalidades positivas (servicios ecosistémicos) derivadas de la ganadería ligada al pastoreo. La evaluación integral de la sostenibilidad de los sistemas de producción de ovinos y caprinos requiere la integración de diversos aspectos e impactos que se producen a escalas diferentes y afectan a otros sectores y actividades económicas. Por tanto, es especialmente necesario adoptar un enfoque multidisciplinario.

Existe una gran diversidad de explotaciones, sistemas de producción y territorios; es necesario considerar esa diversidad como una ventaja y no como un inconveniente, buscando la complementariedad entre diversos sistemas y áreas geográficas. Existen asimismo diversas escalas de análisis que es preciso articular: desde el animal, pasando por el rebaño, la explotación y el territorio. Si bien coexisten diversas lógicas de producción y de organización del sector, y diversas consecuencias económicas, sociales y ambientales, que en muchas ocasiones son antagónicas (producción artesana frente a producción industrializada, o la utilización de los recursos naturales y las consecuencias en emisiones de gases de efecto invernadero), es preciso abundar en la búsqueda de sinergias (Red FAO-CIHEAM, 2010).

García et al., (2009), analizaron la calidad bacteriológica de la leche cruda de cabra, producida en la Parroquia Faría del Municipio Miranda del Estado Zulia. En este sentido, se recolectaron 100 muestras a nivel de pezón, en 50 animales pertenecientes a 10 unidades de producción y 10 correspondientes al pool de cada unidad. Se encontró un mayor nivel de estafilococos (54 %).

Salas et al., (2008) realizaron un diagnóstico participativo restringido del sistema caprino tradicional en el semiárido larense, por lo cual lograron identificar las principales limitantes y oportunidades de las comunidades de San José de los Ranchos y Villa Araure, a través de la valoración del conocimiento local.

Esta información permitió determinar las acciones inmediatas para la solución de los principales problemas analizados. Las acciones realizadas fueron: rutas sanitarias planificadas con el objetivo de llevar registros y un manejo sanitario de los rebaños, dictar cursos y talleres relacionados con temas de interés que permitirán obtener y aplicar los conocimientos en el manejo de los rebaños, creación de bancos forrajeros con el propósito de suministrarle forrajes a los animales de forma oportuna y abundante en épocas críticas.

Muñoz et al., (2006) estudiaron el sistema de producción caprino nativo en el Estado Lara. Se aplicó una encuesta a 67 productores representativos de la zona del semiárido de Lara, relacionado con aspectos sociales y productivos de sus explotaciones. Los resultados señalan que las edades de quienes atienden el rebaño son de 36-57 años (54,3%), predominantemente hombres (61%) y que el 68,7% presenta un nivel de escolaridad primaria. Los productores viven en fincas, 38%, mientras que los restantes viven en caseríos (62%). La tenencia de la tierra es de tipo comunal (79%). Los productores manejan sus rebaños en conjunto con su familia, 94%. Los rebaños son de 20 a 200 animales por finca, 73% son vientres, el 40% no posee padrotes.

Bravo y otros (2004) realizaron un trabajo de investigación en los sectores El Jején, Ciruelo alto y Balcón bajo, Municipio Mara del estado Zulia, para generar información sobre los parámetros productivos y reproductivos de ovinos. En estos sectores existen precipitaciones anuales promedio de 400 mm con temperatura media anual de 29 °C, el número de animales registrados fue de mil cabezas, el sistema de crianza es extensivo y la única fuente de alimentación es el pastoreo sobre vegetación natural caracterizada por presentar dos estratos el sotobosque en el estrato inferior formado por plantas arbustivas y el estrato superior por árboles en su mayoría leguminosas cuyos frutos y flores al caer son consumidos por los ovinos.

Áreas de estudio. Quisiro

La historia de esta población está asociado con la cría de caprinos y ovinos, aunque a principios del siglo 20, Quisiro era conocido por su producción de arroz (Mincultura, 2010). La actividad económica de la comunidad de Quisiro gira alrededor del turismo, especialmente por la playa de Oribor, que en épocas de vacaciones se transforman en sitios de desplazamiento de visitantes de todas partes. También por la actividad de cría de caprinos y ovinos, cuyo rebaño actualmente es de uno 15 000 ejemplares de cabras y 2 000 ovejas. La producción de leche

y queso de cabra es muy apreciada, por lo que existe un potencial para el incremento de esta actividad, impulsada además por la tradición y el esquema de trabajo familiar, que involucra en el sistema de producción animal a todo el grupo familiar, donde los niños aprenden de las experiencias de su padres, con un apego especial por la tierra y sus frutos.

Una tradición reciente en Quisiro es la Feria del chivo. Se convoca cada año, en la primera semana de diciembre, motivado a la celebración del día de la Virgen Inmaculada el 8 de diciembre en este poblado, en su complejo ferial. En el evento se resalta el valor del chivo como semental y los productos derivados del caprino. Se exponen para la venta o intercambio los mejores animales vivos, sementales y nodrizas. En la feria compiten las hembras como productoras de leche y los machos por sus cuernos más largos, la barba más peculiar y notoria (Mincultura, 2010).

En la actualidad, Quisiro cuenta con una comunidad de productores agropecuarios, especialmente del área de caprinos y ovinos, motivados para continuar en su labor de cría de rebaños, aun impulsados por la tradición familiar, la cultura popular de la zona así como la convivencia cotidiana con las áridas condiciones del lugar.

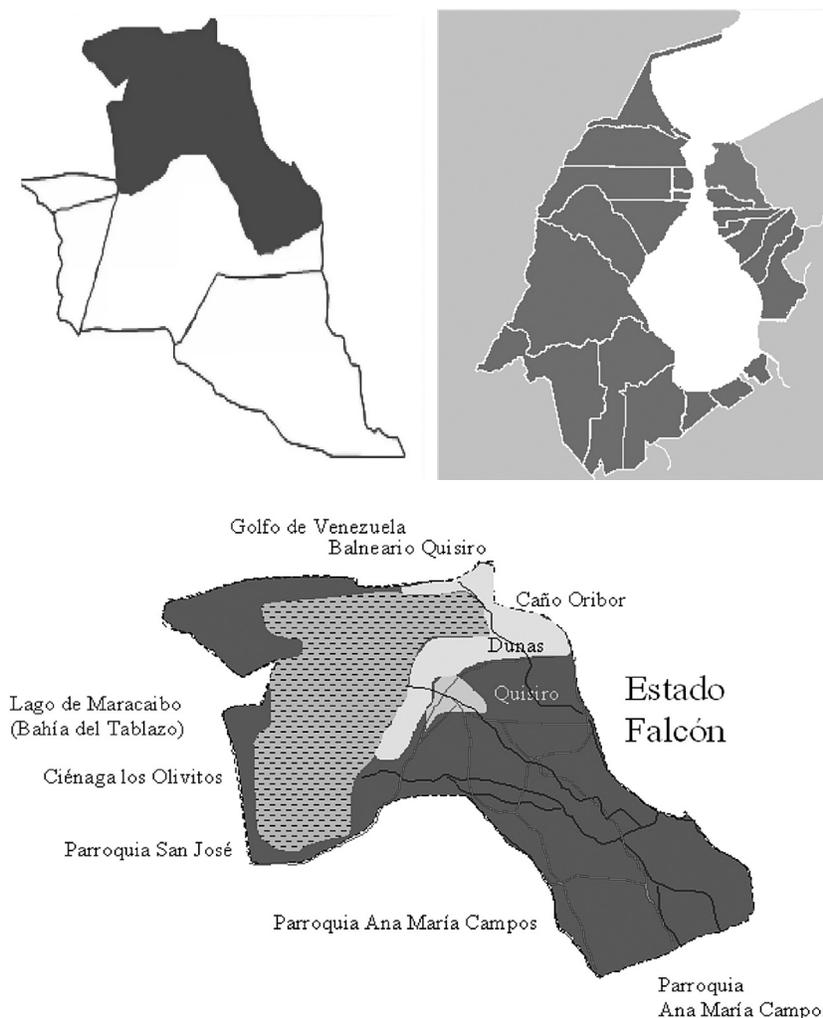


Figura 1. Parroquia Faría, ubicación en el contexto del Estado Zulia. Fuente: Strauss (2000)

Los Cilantrillos y La Esperanza

Se trata de dos comunidades ubicadas en el Municipio Simón Bolívar del Estado Zulia, donde sus características principales tienen que ver con la explotación petrolera en todos sus rincones. Cada sector de estas zonas es atravesado por tuberías de vapor, de conducción de petróleo, o por instalaciones con balancines que le dan el aspecto de área de interés petrolero como está catalogada en todas las revisiones geográficas, legales, o simplemente de tenencia de la tierra, dada la importancia que tiene para la industria más grande y extensa de Venezuela (Timaure, 2011).

Sin embargo, a la par de esa actividad industrial, la labor agropecuaria siempre ha estado presente, conviviendo con las desventajas, apoyos, depreciaciones, que se pueden dar en estas tierras llenas de un gran potencial. El mismo viene dado por las condiciones agroecológicas, que presenta la zona de vida bosque muy seco tropical, que permiten la oportunidad de cultivar todo el año, a pesar de la insuficiencia de agua (Timaure, 2006).

La mayor ventaja es la facilidad de acceso con las vías que ha construido la industria. Hay depreciación y desventajas con la contaminación derivada de la explotación petrolera, la instalación de tuberías, pozos o construcciones diversas, lo que dificulta la actividad agrícola, especialmente lo relativo al financiamiento, el cual no se otorga a los productores e interesados en la zona por ser de interés petrolero. Inclusive en los años 2008, 2009, se avanzó en la idea de mudar estas dos comunidades por los efectos colaterales del proyecto Complejo Criogénico de Occidente, con el cual la empresa estatal Petróleos de Venezuela, ubicaría en la zona un gran centro de producción gasífera.

A la fecha este proyecto no se ha ejecutado, pero continúa la incertidumbre de los habitantes en cuanto al destino de sus unidades productivas. Sin embargo, el gobierno nacional por intermedio de la Misión AgroVenezuela, realiza asesoramientos, inclusive con financiamiento, para continuar con la tradición agroproductiva de la zona y que puedan seguir realizando aportes al sistema agroalimentario nacional.

Actualmente en la comunidad de Los Cilantrillos (figura 2), residen unas 500 personas, posee una escuela, no hay módulo de salud, tiene 2 calles asfaltadas, posee un consejo comunal, varias cooperativas de productores, tienen nulo acceso al financiamiento agrícola de parte de la banca privada o pública.

A pesar de ello, estas dos comunidades cuentan con un grupo de líderes entusiastas de la actividad agropecuaria, que impulsan la organización comunitaria, la participación en cursos, asambleas y eventos, lo cual ha permitido la continuidad de las labores agropecuarias en un entorno de permanentes dificultades derivadas de la actividad petrolera en la subregión.

Materiales y métodos

Se seleccionó una muestra de 3 comunidades agrícolas de la subregión COLM para el estudio: Quisiro en el municipio Miranda, La Esperanza y Los Cilantrillos en el municipio Simón Bolívar. Ello en función de ser las principales zonas productoras de la subregión además de las facilidades de acceso. En la población de Quisiro se aplicó el instrumento a 30 productores, en Los Cilantrillos a 20 y La Esperanza a 10.

En primer lugar se realizó un sondeo de las comunidades a estudiar para señalar su ubicación en los planos, líderes e informantes, contactos con asociaciones, así como el censo de productores. En segundo lugar, se aplicó un instrumento de 42 ítems, para la obtención de información en cuanto a aspectos sociales, vivienda, núcleo familiar, rebaño, tamaño de la unidad de producción, prácticas culturales y de cría, razas, ingresos. Dicho instrumento fue validado por 3 expertos de las facultades de Agronomía y Ciencias Veterinarias de la Universidad del Zulia.

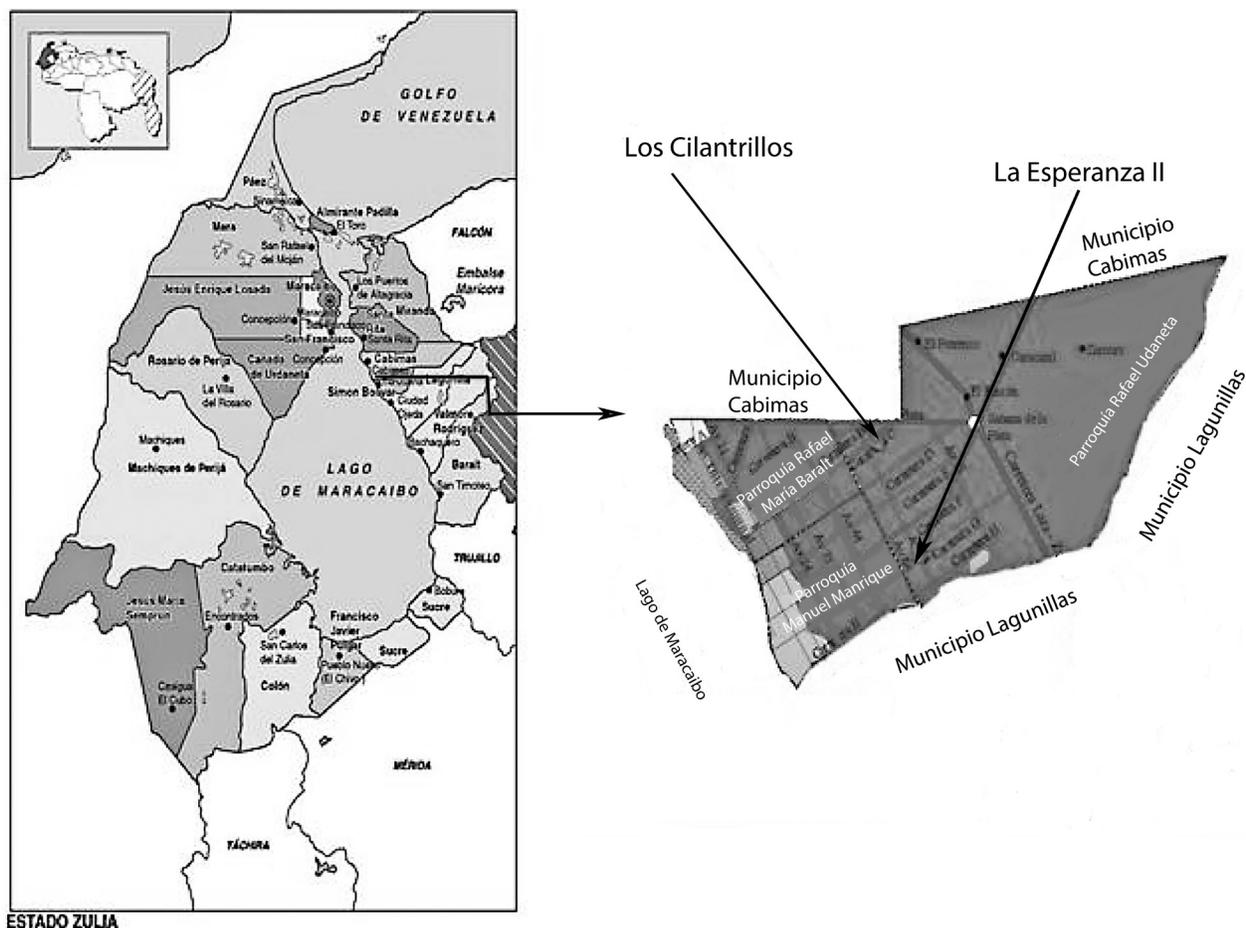


Figura 2. Ubicación de Los Cilantrillos y La Esperanza en el Municipio Simón Bolívar, Estado Zulia. Fuente: Timaure (2011)

Resultados y discusión

De acuerdo a la información suministrada por los líderes de la subregión en las comunidades visitadas, en los últimos 5 años existe una reducción considerable en el número de animales, tal como señalan diversos autores. Armas (2006) indica que para el 2003 en Venezuela existían 3,1 millones de cabezas de caprinos, el MAT (2008) muestra una cantidad de 1 100 000, una reducción de más del 50%.

De igual forma, en la Parroquia Faría del municipio Miranda, se tiene para el año 2007 una población cercana a los 20 000 caprinos, que se redujo a 16 137, tal como se indica en el cuadro 1. Ello motivado principalmente a la acción de las lluvias en los años 2007-2008.

Cuadro 1. Número de caprinos y ovinos en la Subregión COLM del estado Zulia

	Caprinos	Ovinos
Miranda	16137	7526
Santa Rita	577	2580
Simón Bolívar	346	695
Cabimas	99	1893
Lagunillas	286	2743
Valmore Rodríguez	568	3332
Baralt	344	2780
Total	18.357	21.549
Total Zulia	72.077	195.009

Fuente: MAT (2008)

En el Municipio Simón Bolívar las poblaciones caprinas y ovinas se han mantenido con cierta estabilidad en los últimos 5 años, de acuerdo al monitoreo efectuado por la Coordinación agrícola y ambiental de la Alcaldía.

En Quisiro los productores tienen un rango de edad entre 25 a 65 años, demostrando esto que los jóvenes participan activamente en el manejo de los rebaños, contrario a lo que señala la FAO (2010) donde se explica que en Europa, algunas dificultades del sector caprino y ovino están relacionadas con la falta de relevo generacional, envejecimiento y abandono de la actividad.

En cuanto a las razas predominantes de caprinos en las comunidades analizadas se tiene a Alpina, Nubia, caroreña, canaria, criolla, saanen, mestiza, mientars que en las ovejas las razas predominantes son persa, cabeza negra, west africana y mestiza.

El número total de animales de acuerdo a las encuestas realizadas fue de 1 675 cabras, 1 105 ovejas en un número global de 2 570 hectáreas (cuadro 2).

Cuadro 2. Cantidad de animales y hectáreas del estudio.

	Nº productores	Ha	Caprinos	Ovinos
Quisiro	30	2 250	1 300	675
Los Cilantrillos	20	230	300	280
La Esperanza	10	90	75	150
Total	60	2 570	1 675	1 105

Fuente: Investigación de campo 2010

De ello se desprende que el promedio de cabras por unidad productiva en Quisiro es de 43,3 y de 22,5 respecto a las ovejas. En Los Cilantrillos el promedio de cabras por finca es de 15, de ovejas 14 ovejas/finca, y en La Esperanza es de 7,5 cabras/finca y de 15 ovejas/finca.

En cuanto a la procedencia o lugar de origen de los productores, el 80% de ellos desarrollan su actividad en la misma zona de origen, especialmente en Quisiro. Lo anterior es una excepción en Los Cilantrillos y La Esperanza, donde el 35% de los productores proviene del Estado Falcón

o de Maracaibo. Esto también está relacionado con el hecho que en Quisiro la producción de caprinos y ovinos tiene mayor tradición en comparación con las otras zonas del estudio.

Características de la producción caprina y ovina en la COLM

Pastoreo

En el cuadro 3 se aprecia que el 88,3% de los productores aplican el manejo de libre pastoreo en sus rebaños, ello se corresponde con el manejo tradicional del sistema, en el cual las cabras y ovejas pastan libremente en la unidad de producción, seguidas o pastoreadas por los cuidadores de oficio. El resto de criadores, 11,7% además del pastoreo aplica rotación en potreros, o también en grupos semiestabulados o estabulados.

Cuadro 3. Frecuencia de libre pastoreo de rebaños

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	Sí	53	88,3	88,3	88,3
	No	7	11,7	11,7	100,0
	Total	60	100,0	100,0	

Fuente: Investigación de campo 2010

Rebaño

En el cuadro 4, se tiene que el 85% de los productores de la subregión COLM, poseen un rebaño completo, es decir, con machos, hembras y cabritos, en el caso de caprinos, de igual forma, la mayoría tiene ovinos completando los rebaños entre las dos especies.

Cuadro 4. Presencia de rebaño completo

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	Sí	51	85,0	85,0	85,0
	No	9	15,0	15,0	100,0
	Total	60	100,0	100,0	

Fuente: Investigación de campo 2010

Uso de la vegetación natural y foránea

El 86,7% de los productores consultados utiliza la vegetación natural disponible en la finca para la alimentación de sus rebaños (cuadro 5). Entre las especies vegetales más utilizadas se aprecian el cují (*Prosopis juliflora*), pasto guinea (*Panicum máximum*), leucaena (*Leucaena leucocephala*), dividive (*Caesalpinia coriaria*), samán (*Samanea saman*), granadilla (*Passiflora ligularis*), orégano (*Origanum vulgare*), platanito negro (*Cassia emarginata*), bejuquillo (*Centrosema sp*), entre otras especies autóctonas de cada zona.

El 13% restante, siembra y corta pastos como bermuda, estrella, tanner, alemán dependiendo del tipo de suelo y relieve que posean en su unidad productiva.

Cuadro 5. Uso de la vegetación natural de la zona

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	Sí	52	86,7	86,7	86,7
	No	8	13,3	13,3	100,0
	Total	60	100,0	100,0	

Fuente: Investigación de campo 2010

Un 71,7% no conduce sus rebaños fuera de la unidad productiva (cuadro 6), por lo que utilizan la vegetación existente en la misma para el consumo de sus animales, a diferencia de un 28,3% que aprovecha, alquila o presta alguna finca o sector para la alimentar sus rebaños.

Cuadro 6. Uso de la vegetación fuera de la finca

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	Sí	17	28,3	28,3	28,3
	No	43	71,7	71,7	100,0
	Total	60	100,0	100,0	

Fuente: Investigación de campo 2010

Uso de alimentos concentrados

Los productores del estudio, en un 71,7% no utilizan alimentos concentrados (cuadro 7), a diferencia de un 28,3 que si lo aplica especialmente en aquellos casos donde la producción, comercialización de leche y queso es importante para el sostenimiento de la unidad productiva.

Sin embargo algunos criadores utilizan algunos productos como maíz cocido, especialmente en Quisiro, para completar las raciones de los caprinos. El uso de bloques nutricionales permite el incremento productivo de caprinos y ovinos, sin embargo, el 71,7% (cuadro 8) no utiliza este sistema para alimentar a sus rebaños, lo cual determina para la subregión un patrón tecnológico rudimentario o de forma tradicional extensivo.

Cuadro 7. Uso de alimentos concentrados

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	Sí	17	28,3	28,3	28,3
	No	43	71,7	71,7	100,0
	Total	60	100,0	100,0	

Fuente: Investigación de campo 2010

Cuadro 8. Uso de bloques nutricionales

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	Sí	17	28,3	28,3	28,3
	No	43	71,7	71,7	100,0
	Total	60	100,0	100,0	

Fuente: Investigación de campo 2010

Asistencia veterinaria

La asistencia veterinaria es clave para el manejo sanitario de los rebaños, en este sentido, la mayoría de productores utiliza los servicios de familiares, conocidos, o el propio criador para colocar las vacunas necesarias. Por ello se señala un 28,3 (cuadro 9) de asistencia veterinaria en la zona para caprinos y ovinos.

En este sentido, el Ministerio de Agricultura y Tierras, conjuntamente con el Instituto Nacional de Salud Agrícola Integral, INSAI, desarrolla programas de asesoramiento en todos los municipios de la región zuliana, con el fin de preservar la salud de los rebaños.

Cuadro 9. Asistencia veterinaria

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	Sí	17	28,3	28,3	28,3
	No	43	71,7	71,7	100,0
	Total	60	100,0	100,0	

Fuente: Investigación de campo 2010

Sin embargo es notable como todos los productores señalan que sus rebaños están vacunados o aplican el programa de vacunación que rige el sistema de producción caprino y ovino en la región zuliana (cuadro 10).

Cuadro 10. Colocación de vacunas a rebaños

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	Sí	60	100,0	100,00	100,0
	No	0	0	0	0
	Total	60	100,0	100,0	

Fuente: Investigación de campo 2010

Producción de queso

Referente a la producción de queso de cabra en la finca, solo el 56,7% de las unidades de producción la realizan (cuadro 11), aunque de forma artesanal, ello permite al grupo familiar participar en el manejo de los animales además de sostener en el tiempo, el sistema, aunado al interés turístico que genera la forma tradicional de este manjar típico de la cría caprina.

Cuadro 11. Producción de queso en la finca

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	Sí	34	56,7	56,7	56,7
	No	26	43,3	43,3	100,0
	Total	60	100,0	100,0	

Fuente: Investigación de campo 2010

Participación y consumo familiar

En relación a la participación del grupo familiar en la producción caprina y ovina, se tiene que el 88,3% (cuadro 12) participa activamente en el manejo de los rebaños, derivado como se ha comentado anteriormente de la tradición o del entorno familiar, especialmente en la comunidad agrícola de Quisiro. Se puede decir que la participación familiar es un valor que se ha solidificado con el tiempo, ayudando en la sostenibilidad del sistema caprino y ovino en la subregión COLM.

Cuadro 12. Participación familiar en la producción

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	Sí	53	88,3	88,3	88,3
	No	7	11,7	11,7	100,0
	Total	60	100,0	100,0	

Fuente: Investigación de campo 2010

De la misma forma, la familia consume los productos que genera el sistema, la carne, leche y queso, lo cual sin embargo, dependiendo del número de animales, la utilizan para la venta, generalmente a puerta de corral. En este caso el 100 % de los productores consume con su núcleo familiar los productos propios de la cría (cuadro 13).

Cuadro 13. Consumo familiar de los productos

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	Sí	60	100,0	100,00	100,0
	No	0	0	0	0
	Total	60	100,0	100,0	

Fuente: Investigación de campo 2010

Formación técnica y financiamiento

La formación técnica la posee el 60% de los productores del estudio (cuadro 14), es decir, algún estudio a nivel de formación media o universitaria que les permite avanzar en la aplicación de tecnologías para la mejora productiva de los rebaños.

Sin embargo, este déficit de formación, se ha tratado de mejorar con la participación de especialistas de la Universidad Nacional Experimental Rafael María Baralt, de la Universidad del Zulia y otras instituciones, que realizan periódicamente talleres en las asambleas de productores de cada zona.

Cuadro 14. Formación técnica del productor

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	Sí	24	40,0	40,0	40,0
	No	36	60,0	60,0	100,0
	Total	60	100,0	100,0	

Fuente: Investigación de campo 2010

El acceso al financiamiento es uno de los puntos críticos del sistema de producción caprino y ovino en la subregión COLM. Ninguno de los productores del estudio, recibe o ha recibido ningún tipo de financiamiento para su actividad agrícola, en este caso de caprinos y ovinos (cuadro 15).

Existen dificultades inherentes al proceso de financiamiento con las entidades públicas y privadas, generadas tal vez por la documentación relativa a la tenencia de la tierra, que especialmente en el Municipio Simón Bolívar, tiene el contexto de ser una zona de interés petrolero, por lo que la actividad agroalimentaria pasa a un segundo plano para el otorgamiento crediticio.

La misión Agro-Venezuela realiza un esfuerzo para certificar las unidades de producción que permanezcan con su actividad cotidiana, sin embargo, aun se enfrenta a elementos de organización, contraloría y efectivo apoyo de los entes gubernamentales para llegar al financiamiento oportuno en este sistema de producción.

Cuadro 15. Acceso al financiamiento

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	Sí	0	0,0	0,0	0,0
	No	60	100,0	100,0	100,0
	Total	60	100,0	100,0	

Fuente: Investigación de campo 2010

En relación con la tradición familiar, el 71,7% indica poseerla como valor e incentivo natural para la constancia como productor caprino u ovino (cuadro 16). Ello implica el acompañamiento que realizan los hijos, sobrinos o primos con el grupo que se encarga de los rebaños, apreciando que algunos se quedan más tiempo con la labor o hasta el manejo definitivo de los animales, en algunos casos es la mujer, algún joven o tal vez el más anciano.

Cuadro 16. Factor tradición familiar en la producción caprina y ovina.

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	Sí	43	71,7	71,7	71,7
	No	17	28,3	28,3	100,0
	Total	60	100,0	100,0	

Fuente: Investigación de campo 2010

Solo un grupo que corresponde al 13% de criadores de la subregión COLM, está organizado en cooperativas (cuadro 17), ello permite inferir que existe un déficit en la preparación y manejo de las cooperativas por parte de los mismos asociados, al igual que de los entes fiscalizadores, para mejorar la gestión de estas formas organizacionales.

Cuadro 17. Presencia de cooperativas

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	Sí	8	13,3	13,3	13,3
	No	52	86,7	86,7	100,0
	Total	60	100,0	100,0	

Fuente: Investigación de campo 2010

Un 56,7% de los productores del estudio está inscrito en la Misión Agro-Venezuela (cuadro 18), que dirige el ministerio del Poder Popular para la Agricultura y Tierras, mejorando en este aspecto la participación de los productores, a través de los consejos comunales y sus delegados.

Esta misión del gobierno nacional, ha permitido la inscripción como productores en una base de datos, a un número importante de personas, que con vocación definida o no por la actividad agropecuaria, esperan contribuir con la mejora de los niveles de productividad del sistema agroalimentario venezolano.

Para los criadores de cabras y ovejas, este es otro elemento a tomar en cuenta para buscar alternativas de mejoramiento continuo en su producción, puesto que la misión tiene previsto, además del financiamiento, el acompañamiento técnico en las fases requeridas.

Cuadro 18. Inscripción en la Misión Agro- Venezuela

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	Si	34	56,7	56,7	56,7
	No	26	43,3	43,3	100,0
	Total	60	100,0	100,0	

Fuente: Investigación de campo 2010

Principales factores que afectan la producción caprina y ovina en la COLM

Otros factores que afectan el sistema de producción caprino y ovino en la subregión COLM, es lo relativo a la conformación de una red tecnológica, la cual generalmente es de tipo gubernamental, del Ministerio de Ciencia y Tecnología, ejecutada a través de los Fundacites, que permiten llevar una serie de trabajos de investigación en los que participan, investigadores, estudiantes de carreras afines, productores, consejos comunales e interesados en general (cuadro 19).

En el Estado Zulia se han creado dos redes socialistas de innovación productiva, para el sistema caprino y ovino, en los municipios Mara y Goajira, por ello, en la UNERMB, se hace énfasis en promover el conocimiento local de la producción agroalimentaria, y en función de ello, buscar la implementación de esa red tecnológica.

Cuadro 19. Productores asociados a una red tecnológica

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	Sí	8	13,3	13,3	13,3
	No	52	86,7	86,7	100,0
	Total	60	100,0	100,0	

Fuente: Investigación de campo 2010

En referencia a la presencia del consejo comunal, el 56,7% de los productores indica que pertenece al de su comunidad (cuadro 20), lo cual determina el interés por mejorar la participación, especialmente la resolución de los problemas que afectan al ciclo productivo de sus rebaños.

Cuadro 20. Presencia del consejo comunal

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	Sí	34	56,7	56,7	56,7
	No	26	43,3	43,3	100,0
	Total	60	100,0	100,0	

Fuente: Investigación de campo 2010

Los productores de la COLM expresan su grado de satisfacción con la actividad que realizan, 88,3% (cuadro 21) están satisfechos, es decir, emocionalmente motivados lo cual los estimula a continuar en las labores rutinarias de manejo de rebaños, como una forma natural de trabajo en el campo.

Cuadro 21. Grado de satisfacción con la producción caprina y ovina

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	Sí	53	88,3	88,3	88,3
	No	7	11,7	11,7	100,0
	Total	60	100,0	100,0	

Fuente: Investigación de campo 2010

Sin embargo, no están conformes con los ingresos que perciben, por cuanto, no alcanza para cubrir los requerimientos para la mejora de la productividad en la unidad de trabajo. La mayoría, 71,7% (cuadro 22) quisiera ver aumentos en la venta o en los precios de los productos que obtienen, de manera de tener un margen de ganancia o de rentabilidad aceptable.

Cuadro 22. Grado de conformidad con los ingreso de la producción

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	Sí	17	28,3	28,3	28,3
	No	43	71,7	71,7	100,0
	Total	60	100,0	100,0	

Fuente: Investigación de campo 2010

Para la zona en estudio, se tiene un promedio de producción de 19,16 L de leche de cabra/día, el promedio del precio de la carne de caprino es de 20 Bs/Kg y el promedio del precio del queso de cabra es de 28,8 Bs/Kg (cuadros 23, 24 y 25).

Cuadro 23. Promedio de producción de leche de cabra por día

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típ.
Leche	60	10,00	40,00	19,1667	12,00694
N válido (según lista)	60				

Fuente: Investigación de campo 2010

Cuadro 24. Promedio del precio de la carne de caprino

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típ.
Carne	60	14,00	25,00	20,0000	3,69685
N válido (según lista)	60				

Fuente: Investigación de campo 2010

Cuadro 25. Promedio del precio del queso de cabra

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típ.
Queso	60	25,00	30,00	28,8571	2,03540
N válido (según lista)	60				

Fuente: Investigación de campo 2010

El precio del queso de cabra de 28 Bs es ligeramente superior al señalado por Armas (2010), donde se señala para 2008 un precio promedio anual de 24 Bs.

Conclusiones

Los sistemas de producción caprina y ovina de la subregión Costa Oriental del Lago de Maracaibo están presentes en sus 7 municipios, aunque en Miranda, específicamente la Parroquia Faría, posee el mayor volumen de animales en 2 250 hectáreas dedicadas a este rubro. En el caso del Municipio Simón Bolívar, corresponde a la Parroquia Rafael Maria Baralt la presencia del mayor número de criadores en un área de 320 hectáreas.

La comunidad de Quisiro presenta condiciones para el manejo de los rebaños soportadas en la tradición familiar, experiencia local así como en el relevo generacional. Ello permite desde

el punto de vista humano, la sostenibilidad de los sistemas de producción caprina y ovina, en función del mantenimiento de la producción a pesar de los vaivenes de las condiciones climáticas, y de las dificultades para obtener financiamiento, como elementos claves para el desarrollo.

Las características de los sistemas de producción caprina y ovina de la subregión COLM indican que predomina el manejo extensivo, con el tipo de raza criolla y un manejo veterinario deficiente. Ello convierte a la mayoría de unidades de producción en empresas de subsistencia, por cuanto existen deficiencias en la oferta de recursos forrajeros o alimenticios, limitación de acuíferos, lo cual va unido también a las condiciones socioeconómicas, mayormente de ingresos bajos, de los productores de las comunidades del estudio.

Entre los principales factores que afectan la producción caprina y ovina en la subregión se puede señalar que existen limitantes para el avance en cuanto al número de hectáreas, número de animales, introducción de razas, organización de la producción, mejoramiento tecnológico y sanitario. Continúa, como es la opinión de los autores (Armas, 2006), que existe una demanda insatisfecha de productos, como leche y queso de cabra, la cual es suplida por importaciones.

Agradecimientos

Se expresan agradecimientos para el CDCHT del Programa Investigación de la UNERMB, por el apoyo institucional y financiero, igualmente para quienes organizaron las asambleas de productores, técnicos e interesados en este tema, el Profesor Jesús Rivero, Presidente del Equipo zuliano de criadores de cabras y ovejas, EZCCO, por su asesoramiento continuo, a los productores de Quisiro, Los Cilantrillos, La Esperanza, Sr. Miguel Briceño, productor de Quisiro, Dr. Henry Briceño por ser el guía en la Parroquia Faria, Dra. Sara Elena Rodríguez del Ministerio de Agricultura y Tierras Región Zuliana por los datos aportados, Sr. Jesús Bravo, del consejo comunal de Los Cilantrillos en Tía Juana, Prof. Tito Córdova, Ing. Marlene Gutiérrez, Coordinadora Agrícola y Ambiental del Municipio Simón Bolívar.

Bibliografía

- Armas W., Arvelo, M., Delgado, A. D'Aubeterre R. 2006. El circuito caprino en los estados Lara y Falcón (Venezuela), 2001-2003: una visión estratégica. Rev. Agroalim, vol.11, no.23, p.101-110. ISSN 1316-0354.
- Armas W., Delgado A., Albornoz A., Araque C., Rueda M., Barón L. 2010. Comportamiento de los precios de queso de cabra (*Capra hircus*) en la zona de San José de Los Ranchos, municipio Torres estado Lara Venezuela. Revista Zootecnia tropical, 28 (1). 101-106
- Bravo J., Martínez M. y Betancourt M. 2004. Parámetros productivos y reproductivos en ovinos en el municipio Mara del estado Zulia. INIA-Zulia IV Congreso Nacional de Ovinos y caprinos, Coro, estado Falcón.
- Ciepe. 2010. Implementación de un sistema integral de producción caprina y ovina modelo en zonas de bajo rendimiento agrícola de Venezuela, como alternativa a los sistemas de leche y carne bovina en el marco del desarrollo endógeno sostenible. Proyecto LOCTI, San Felipe, Yaracuy.
- García A., Rivero J., González P., Valero-Leal K., Izquierdo P., García A., Colmenares C. 2009. Calidad bacteriológica de la leche cruda de cabra producida en la Parroquia Faria, municipio Miranda, estado Zulia, Venezuela. Rev. Fac. Agron. (LUZ). 2009, 26: 59-77
- Ministerio del Poder Popular para la Agricultura y Tierras (MAT). 2008. VII Censo Agrícola. Pagina web: www.mat.gob.ve/censoagricola
- Ministerio del Poder Popular para la Cultura (Mincultura). 2010. Catalogo del Patrimonio Cultural venezolano. Municipio Miranda del estado Zulia.
- Muñoz G., Albornoz A., Armas w., Araque c. y Granda Y. 2006. Sistema de producción nativo en el estado Lara. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, INIA del estado Lara. V Congreso Nacional de Ovinos y Caprinos. Barquisimeto.

- Red FAO-CIHEAM. 2010. 7mo. Seminario Internacional. Sostenibilidad económica, social y medioambiental en sistemas de producción ovinos y caprinos. Zaragoza, España.
- Salas, J.A.; Dickson, L. y D'Aubeterre, R. 2008. Diagnóstico participativo restringido del sistema caprino tradicional en el semiárido larense, Venezuela. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícola del estado Lara, INIA, XIV Congreso venezolano de producción e industria animal. Maracaibo
- Strauss E., Fuenmayor W., Romero J. 2000. Atlas del Estado Zulia.
- Timaure C., Córdova T. 2006. Una experiencia de la UNERMB en el desarrollo endógeno de la cuenca del Lago de Maracaibo. Congreso Internacional del Lago de Maracaibo, COINLAGO.
- Timaure C., Plata D. 2011. Gerencia participativa y sostenibilidad en comunidades agrícolas. Revista CICAG de la URBE. Volumen 8, N° 1.

Características químicas del suelo, producción forrajera y densidad poblacional de lombrices en un sistema silvopastoril en la zona Huetar Norte de Costa Rica

**Chemical properties of soil, forage
production and population density of
earthworms in a silvopastoral system in
the Zona Huetar Norte of Costa Rica**

Alberto Camero-Rey¹, Heiner Rodríguez-Díaz²

Fecha de recepción: 23 de mayo del 2014

Fecha de aprobación: 5 de agosto del 2014

Camero-Rey, A; Rodríguez-Díaz, H. Características químicas del suelo, producción forrajera y densidad poblacional de lombrices en un sistema silvopastoril en la zona Huetar Norte de Costa Rica. *Tecnología en Marcha*. Vol. 28, N° 1, Enero-Marzo. Pág 91-104.

1 Escuela de Agronomía. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Teléfono: (506)24013006. Correo electrónico: acamero@itcr.ac.cr

2 Agropecuaria Hei. Costa Rica. Teléfono: (506)87081433. Correo electrónico: agrohei@gmail.com

Palabras clave

Brachiaria brizantha; *Erythrina berteroana*; sistema silvopastoril; materia orgánica; lombrices; producción forrajera.

Resumen

El presente trabajo se llevó a cabo con el objetivo de evaluar algunas características químicas del suelo, la densidad poblacional de las lombrices y la producción y el valor nutricional del forraje producido. Para esto se evaluaron dos sistemas de producción: T1= *Erythrina berteroana* asociada con *Brachiaria brizantha* CV. Toledo CIAT 26110, y T2= *Brachiaria brizantha* CV. Toledo CIAT 26110 como monocultivo. La investigación se realizó en una finca situada en la cuenca del río Peñas Blancas, sector de Los Ángeles, distrito San Isidro, cantón de San Ramón, provincia de Alajuela, Costa Rica. No se encontraron diferencias estadísticas ($p \geq 0.05$) en el suelo para los valores de pH (5.50 y 5.60 para T1 y T2, respectivamente), pero sí para el porcentaje de materia orgánica (1.70 y 1.20 para T1 y T2, respectivamente) y la cantidad de lombrices en el suelo (314 y 263 lombrices/m², para T1 y T2, respectivamente). Con respecto a la producción de materia seca de *Brachiaria brizantha*, no se encontraron diferencias ($p \geq 0.05$) entre tratamientos, siendo la producción estadísticamente igual en cualquiera de los sistemas estudiados (un promedio de 33 t ha⁻¹ año⁻¹ en cortes cada 30 días). La producción de la biomasa de *Erythrina berteroana* fue de 2.724 kg MS ha⁻¹ año⁻¹ con cortes cada seis meses. Para el valor nutricional del componente forrajero de *Brachiaria brizantha*, no se encontraron diferencias significativas ($p \geq 0.05$) para cada uno de los sistemas evaluados (un promedio de 10,40% PC, 33% FAD, 56% FND).

Keywords

Brachiaria brizantha; *Erythrina berteroana*; silvopastoral systems; organic matter; worms; forage production.

Abstract

This work was conducted in order to evaluate some chemical characteristics in the soil, the earthworm population density, production a nutritional value of forage produced where two systems were evaluated: T1= *Erythrina berteroana* associated with *Brachiaria brizantha* CV. Toledo CIAT 26110 and T2= *Brachiaria brizantha* CV. Toledo CIAT 26110 as a monoculture. The research was developed in the farm located in Los Angeles, San Isidro district, Canton of San Ramon, Alajuela Province, Costa Rica. Under the conditions this work was developed, no differences were found in the soil for pH values (5.50 and 5.60 for T1, y T2, respectively), however, differences were found for the percentage of organic matter (1.70 and 1.20, for T1 y T2, respectively) and the number of worms in the soil (314 y 263 m₂ worms, for T1 y T2 respectively). With respect to dry matter production of *Brachiaria brizantha*, no differences were found among treatments, being the production statistically similar in any of the systems studied (average 33 t ha⁻¹ yr⁻¹ in cuts every 30 days). The biomass production was *Erythrina berteroana* 2.724 kg DM ha⁻¹ yr⁻¹ with cuts every six months. For the nutritional value of forage component of *Brachiaria brizantha*, no significant differences between treatments where found (average of 10.40% CP, 33% FAD, 56% NFD).

Introducción

En Costa Rica, los sistemas de producción ganadera de leche, especialmente en la zona norte, constituyen una de las actividades generadoras de recursos económicos de mayor importancia. Sin embargo, esta actividad productiva está fuertemente cuestionada desde el punto de vista ambiental, dado que se le asocia con la degradación de los ecosistemas y la contribución al calentamiento global por la emisión de gases de efecto invernadero, tales como el dióxido de carbono (CO₂), amoníaco (NH₃), óxido nitroso (N₂O) y especialmente metano (CH₄).

Estos efectos antropogénicos, derivados de manera directa o indirecta en los sistemas de producción ganadera, han creado mayor conciencia de los problemas asociados a la ganadería y se intenta que tales explotaciones sigan una tendencia más sostenible y amigable con el ambiente. En los últimos años se han implementado programas basados en conceptos de agroforestería, como alternativa para disminuir el impacto ambiental de este sector de la economía.

Según Pezo e Ibrahim (1999), los sistemas silvopastoriles son una opción de producción que se puede manejar con el fin de incrementar la productividad y el beneficio neto del sistema. En suelos degradados, estos sistemas ayudan a hacer un mejor uso de la tierra y la integración de árboles de uso múltiple permite un mayor reciclaje de nutrientes y mejores condiciones ambientales. Camero y colaboradores (2000) mencionan que los sistemas silvopastoriles permiten la rehabilitación de pasturas degradadas, la prevención del deterioro de los recursos naturales y asegura la competitividad ante la apertura de los mercados, conceptualizando la producción animal en el contexto de que los sistemas silvopastoriles constituyen un enfoque válido y necesario.

El presente trabajo se planteó el objeto de evaluar algunas características químicas del suelo, la densidad de poblaciones de lombrices, la producción y el valor nutricional del forraje en un sistema de monocultivo a base de *Brachiaria brizantha* CIAT 26110 CV. Toledo y un sistema silvopastoril *Erythrina berteroana* en asocio con *Brachiaria brizantha* CIAT 26110 CV. Toledo, en la Zona Huetar Norte de Costa Rica.

Importancia de los sistemas silvopastoriles

Camero y colaboradores (2000) indican que la ganadería tropical basa su productividad en los pastos, siendo este sistema altamente dependiente de los insumos, debido a la aplicación constante de fertilizante para regenerar los forrajes, lo que indirectamente impacta de manera negativa la biodiversidad y promueve la emisión de gases de efecto invernadero. Las ideas en pro del uso de alternativas que van de la mano con la necesidad de desarrollar sistemas como los silvopastoriles no son nuevas. Estos sistemas se basan en la combinación natural o una asociación deliberada de uno o varios componentes leñosos (arbustivos y/o arbóreos), dentro de una pastura de especies de gramíneas y leguminosas herbáceas nativas o cultivadas y su utilización con rumiantes y herbívoros en pastoreo (Combe y Budowski, 1979; Nair, 1985; Nair 1989).

Los sistemas silvopastoriles incluyen el uso adecuado de especies arbóreas, especialmente de la familia Leguminosae, como los elementos propiciadores de un sistema integrado (gramínea-árbol-animal). En este tipo de sistema, los árboles activan el reciclaje y bombeo de nutrientes en el suelo, en particular del nitrógeno, aportan materia orgánica, mejoran la estructura del suelo, así como la población de especies de macro y microorganismos que intervienen en la dinámica del reciclaje de nutrientes en la relación planta-suelo. Casasola y colaboradores (2005) señalan que la sombra que proyectan los árboles atenúa la intensidad lumínica y la temperatura foliar de las plantas y también mejora el contenido de proteína cruda de los pastos o forrajes acompañantes.

Interacciones presentes en los sistemas silvopastoriles

Si se tienen árboles y/o arbustos en asocio con pastos, entre ellos pueden presentarse relaciones de interferencia y facilitación. La competencia por espacio, agua, luz y nutrientes, así como los efectos alelopáticos, son manifestaciones de interferencia. En cambio, la fijación de nitrógeno, la transferencia de nutrientes y la protección son ejemplos de relaciones de facilitación (Ojeda et al., 2013).

En estos sistemas se dan interacciones entre plantas leñosas perennes, vegetación herbácea, bovinos y suelo. Estos cuatro componentes a su vez son afectados por un marco regional climático y también son influenciados por aspectos sociales, culturales y económicos de los productores (Gil et al., 2005). La relación entre la vegetación, ya sea establecida naturalmente o cultivada, y el ganado no es unidireccional. Rusch y Skarpe (2009) indican que esta interacción no se debe entender simplemente como el efecto del ganado sobre las plantas, sino como una en la cual las respuestas de la vegetación determinan, a su vez, la conducta de pastoreo del ganado. En este mismo orden, Fernández y colaboradores (2007) señalan que las complejidades de estas interacciones mediadas por el sombreado de los árboles disminuyen la disponibilidad de luz, la evapotranspiración de la vegetación herbácea y, en algunos casos, el contenido de nutrientes en el suelo.

Las especies arbóreas poseen distinta capacidad para absorber y traslocar los nutrientes del suelo a sus hojas. Según Aponte y colaboradores (2010), estos procesos de traslado o retorno de elementos minerales provoca cambios en la acidez y disponibilidad de nutrientes en el suelo, lo cual genera modificaciones en el hábitat y en los recursos disponibles para los organismos del suelo y, por ende, cambio en las comunidades de micro y macrofauna. Gil y colaboradores (2005) reafirman lo anterior al indicar que los árboles presentes en los sistemas silvopastoriles mejoran el ciclo de los nutrientes no disponibles para las raíces superficiales de los pastos o forrajes, por medio de raíces profundas y el aporte de la hojarasca, lo que contribuye a mantener la fertilidad del suelo y aumentar la materia orgánica en él; también crean microclimas más favorables tanto para el ganado como para el cultivo.

Jiménez y colaboradores (2001) mencionan que uno de los aportes más importantes de los sistemas silvopastoriles es la conservación de los nutrientes en los ecosistemas y el aumento de la disponibilidad de algunos, en especial el nitrógeno. Los árboles traslocan e incorporan estos nutrientes en su biomasa, que al descomponerse los libera en las capas superficiales del suelo. Así, los nutrientes vuelven a estar disponibles también para cultivos asociados.

Generalidades de *Brachiaria brizantha* CV. Toledo (CIAT 26110)

El pasto Toledo es una nueva alternativa forrajera correspondiente a la accesión *Brachiaria brizantha* CIAT 26110, la cual procede de Burundi, África. Es una planta que crece formando macollas y presenta una amplia adaptabilidad de diversos suelos y climas. Se considera que se desarrolla de buena manera en el trópico húmedo, pero se adapta mejor en lugares donde existen suelos de mediana y buena fertilidad. Toledo presenta rendimientos de 30 toneladas de materia seca por hectárea por año, siendo mayores a otras *Brachiaris* y muy similares a los reportados por el pasto *Panicum maximum* (Guinea). Con estos rendimientos se puede permitir a un productor utilizar cargas animales superiores a 2.5 UA ha⁻¹ con el período de descanso entre pastoreo de 14 a 21 días, en especial durante las épocas de mayor precipitación. Este pasto presenta contenidos de proteína cruda (PC) en las hojas de 13%, 10% y 8% a edades de rebrote de 25, 30 y 45 días, respectivamente. En estas mismas edades, la digestibilidad in vitro de la MS es de 67%, 64% y 60%. Se debe mencionar que, debido al rápido crecimiento

después del pastoreo, el nivel de PC en el forraje puede ser inferior al 7%, lo cual repercute negativamente en la producción animal. Para contrarrestar esto se recomienda manejar el pastizal con altas cargas animales y pastoreos frecuentes (Lascano et al., 2000).

Generalidades del poró (*Erythrina berteroana*)

El poró es un árbol de tamaño pequeño o mediano, de hasta 10 m de altura. Presenta hojas alterna, con tres hojuelas de 10 a 35 cm de largo. Las flores son de color rosa o rojas, apareciendo en conjunto con las hojas en racimos terminales. Es una especie de crecimiento rápido, su propagación es bastante fácil por medio de sus semillas, también se utilizan estaquillas o estacones de más de 2,5 m de largo (Cordero y Boshier, 2003). Según García (2010), el poró se puede propagar por estacas de 0,8 a 1,5 m de largo y más de 3,5 cm de diámetro en siembra directa (acostada en surcos), con un porcentaje de rebrote superior al 85%, si la precipitación y la preparación del suelo durante la siembra son adecuadas. En muchos países se usa para cercas vivas y su follaje para la alimentación de cabras y vacas, con buena aceptación por parte de estos animales. Se puede sembrar de forma compacta plantando 25,000 árboles ha⁻¹ y produciendo así más de 15,000 kg de MS comestibles ha⁻¹ año⁻¹ (Odalís et al., 2006).

La lombriz de tierra en el suelo

La materia orgánica del suelo es incorporada paulatinamente por acción de la mesofauna de lombrices, contribuyendo a mejorar su estabilidad y la capacidad de infiltración del agua (Ojeda et al., 2013). Según Martínez (1996), las lombrices de tierra favorecen la fertilización del suelo ya que, al digerir la materia orgánica, depositan las excretas en él, distribuyendo los nutrientes en el mismo lugar, además de encontrarse disponible para las plantas. Asimismo, con su movimiento permiten que los nutrimentos se distribuyan mejor desde la superficie hasta las capas profundas.

Por otra parte, la importancia de las lombrices en los procesos de descomposición, construcción y mantenimiento de la estructura del suelo se ha documentado, tanto en suelos de clima templado como tropicales (Gilot, 1997; Tian et al., 1997). Las variables ambientales pueden afectar mucho la actividad y EL número de lombrices en el suelo (Tian et al., 1997), por lo tanto es importante tomar en cuenta la biomasa de lombrices como un indicador más de la calidad del suelo.

Cantidad y calidad nutricional de la biomasa en un sistema silvopastoril

En la nutrición de rumiantes, los follajes arbóreos son un grupo de alimentos suplementarios que no han sido totalmente explotados en los sistemas de alimentación en el trópico, a pesar de que proveen nitrógeno degradable en rumen y de sobrepaso, energía digestible y minerales en cantidades adecuadas para ser utilizadas, especialmente como complemento de dietas básicas (Pinto-Ruiz et al., 2005). Navas (2007) apunta que, en épocas de buena producción de las pasturas, la producción de biomasa a partir de especies arbóreas y arbustivas permite dar un suplemento a los animales a fin de llenar sus requerimientos nutricionales y mejorar la producción, ya sea de carne o de leche. Asimismo, en épocas en las que se reduce la producción en el potrero, los sistemas con especies leñosas pasan a ser la base de la alimentación, lo que permite conservar la carga animal en la finca y mantener o evitar la reducción drástica de la producción de leche o la pérdida de peso de los animales. En los sistemas silvopastoriles se dan interacciones positivas y negativas, especialmente entre los árboles y la pastura. Existen

reportes (Daccaret y Blydenstein, 1968; Wilson, 1982; Bustamante, 1991; Belsky, 1992; Carvalho et al., 1994; Zelada, 1996), citados por Piñero (2011), según los cuales las pasturas que crecen bajo diferentes coberturas arbóreas presentan notables incrementos en su calidad nutricional, manteniendo el mismo rendimiento en materia seca que pasturas en monocultivos.

Desarrollo de la experimentación

La duración del período experimental fue de dos años y se inició con el muestreo básico del suelo y biomasa forrajera. El ensayo se estableció en un potrero dedicado a pastoreo continuo cuya base forrajera era ratana (*Ischaemun indicum*, Houtt; sin. *I. ciliare*, Retz). Para el establecimiento de la plantación arbórea y la gramínea forrajera, se procedió a hacer una limpieza de malezas de forma mecánica (dos pases de rastra). Antes de la siembra, una vez aparecido rebrotes de maleza, se aplicó herbicida herbicida (Paraquat) La semilla de gramínea se distribuyó al voleo en el área experimental. Se hicieron pruebas de germinación y pureza para calcular la cantidad de semilla comercial que se utilizaría. Se determinó la tasa de siembra en 4 kg ha^{-1} para una población aproximada de 250,000 plántulas/ha. El material vegetativo (estacas) de poró se obtuvo de cercas vivas en crecimiento libre. Se procedió a escoger la parte media de la estaca, con un diámetro de entre 8 y 12 cm y 1,5 a 2 m de largo, después de esto se hizo una incisión o descortezamiento de 1 cm de ancho a lo largo de la estaca para beneficiar un mayor brote de raíces. Las estacas se sembraron en surcos de 10 cm de profundidad y 10 m de distancia entre ellos. La forma de siembra de las estacas fue por “chorro corrido”.



Figura 1. Sistema silvopastoril de *Brachiaria brizantha* asociada con *Erythrina berteroana*. Foto A. Camero.

Tratamientos y diseño experimental

Para el análisis de las variables se utilizó un diseño experimental completo al azar con tres repeticiones. Cada unidad experimental consistió de una parcela de 1200 m^2 , para un total de seis unidades experimentales (total de área experimental = 7200 m^2).

Se evaluaron dos tratamientos:

T1 (Po-Br)= Poró asociado con pasto *Brachiaria brizantha* CV Toledo.

T2 (Br) = Monocultivo pasto *Brachiaria brizantha* CV Toledo.

El efecto de las fuentes de variación se analizó estadísticamente utilizando PROC Mixed del paquete SAS. Las diferencias entre medias de tratamiento se generaron utilizando la instrucción LSMEASN/PDIFF de SAS.

Variables evaluadas

Propiedades químicas del suelo

Se realizaron dos muestreos de suelo, uno al inicio del ensayo y otro al final del período experimental. En el primero se tomaron seis muestras (tres a 15 cm y tres a 30 cm de profundidad). En el segundo se tomaron tres puntos al azar por parcela; en cada punto se muestreó a dos profundidades, 15 cm y 30 cm, con la ayuda de un barreno. Las tres submuestras de 15 cm se mezclaron de forma física en un recipiente y luego se tomaron aproximadamente 300 g de esta mezcla para enviarlos al laboratorio; el mismo procedimiento se llevó a cabo con las tres submuestras obtenidas a los 30 cm. En total, para el área experimental se recolectaron nueve submuestras obtenidas a los 15 cm y nueve submuestras obtenidas a los 30 cm. Ambas muestras se enviaron al laboratorio del Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR) para determinar el pH y contenido de materia orgánica.

Densidad y caracterización poblacional de lombrices en el suelo

Para el estudio de esta variable se hicieron dos muestreos; el primero se realizó al inicio del ensayo y el segundo al final del período experimental. Se seleccionaron tres puntos al azar en cada una de las parcelas. Luego, con la ayuda de una pala, se procedió a abrir un hueco de 25 x 25 x 15 cm de dimensión en cada punto; toda la tierra de cada punto fue depositada por separado en un estañón y se procedió a contar todas las lombrices que había en ella. Luego de contar las lombrices, se devolvieron al suelo.

Biomasa del componente arbóreo

Se realizó un corte de uniformización a una altura de 2 m a los seis meses de establecido el ensayo. La cantidad de biomasa producida por el componente arbóreo se midió al final del período experimental. En cada una de las parcelas se establecieron cuatro hileras de especie arbórea. En las dos hileras centrales se cortaron todas las ramas de los árboles a una altura de 2 m. Una vez cosechado el material, se introdujo en un estañón y con la ayuda de una balanza se tomó el peso en campo (RMV). Luego se distribuyó el material dentro de la parcela. Con base en el rendimiento de dos hileras centrales, se procedió al cálculo equivalente al rendimiento por hectárea. Las dos hileras restantes en cada parcela también fueron cosechadas a 2 m de altura.

Biomasa del componente asociado

A los cuatro meses de establecida la plantación se hizo un corte de uniformización, luego cada 30 días se realizaron muestreos para la producción de biomasa. Los muestreos de pasto se hicieron de forma aleatoria, según el método de muestreo destructivo, con la ayuda de una podadora y utilizando marcos de 50 cm x 50 cm, tomando cuatro muestras por parcela a una altura de 40 cm. Una vez recolectadas, se llevaron al laboratorio de Análisis Agronómicos del ITCR, Sede San Carlos, donde se pesaron con el fin de determinar el rendimiento de materia

verde de las parcelas. Con base en el rendimiento en las parcelas se calculó el rendimiento total por hectárea.

Determinación del contenido de materia seca del componente arbóreo y gramíneo asociado

El contenido de materia parcialmente seca se determinó por secado de la muestra a 50 °C por 72 horas en un horno de aire caliente forzado. El peso de la muestra seca se determinó una vez que ésta se equilibró con la humedad ambiente (12 horas después de retirada del horno). El porcentaje de materia seca se determinó usando la siguiente fórmula:

$$\%MS = (PMS/PMV)*100$$

Donde:

%MS = % de materia seca

PMV = Peso de la muestra verde en gramos

PMS = Peso de la muestra seca en gramos.

Posteriormente se molieron las muestras en un molino Wiley con criba de 1 mm y luego se determinó la MS a 105 °C. La materia seca total se determinó corrigiendo la MS parcialmente según la siguiente fórmula:

$$MS \text{ Total} = (MS \text{ parcialmente seca} \times MS \text{ a } 105 \text{ } ^\circ\text{C})/100$$

Valor nutricional de la gramínea asociada

La proteína cruda se determinó con el equipo de laboratorio “Nitrogen Analyzer Rapid N Cube (Elementar, Alemania)” y el contenido de FAD y FND (MS a 105 °C) usando el equipo de laboratorio “Fiber Analyzer” (Ankom Technology New York, USA).

Resultados y discusión

Valores de pH y contenido de materia orgánica (MO) en el suelo

No se encontraron diferencias significativas ($p \geq 0.05$) para los valores de pH en el suelo. Para el contenido de MO se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$), siendo superior el tratamiento que incluyó el poró como arbórea. En el Cuadro 1 se muestran los valores promedios para cada una de las variables mencionadas.

Cuadro 1. Valores de pH y contenido de materia orgánica en el suelo.

Variable de respuesta	T 1 (Po – Br)	T 2 (Br)
pH	5.50 a	5.60 a
MO	1.70 a	1.20 b

Nota: Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

No obstante, comparando los valores de pH obtenidos al inicio (5,85) y al final del período experimental (1,70 y 1,20 para T1 y T2, respectivamente), se determinó una reducción de éste. Esta disminución se puede relacionar con un aumento en el contenido de materia orgánica en el suelo en cada uno de los tratamiento evaluados, ya que al inicio el suelo presentaba 0,75%

de contenido de materia orgánica, alcanzando a los 29 meses de establecido el ensayo 1,70% y 1,25% para T1 (Po-Br) y T2 (Br), respectivamente.

La superioridad del contenido de MO en el tratamiento T1 (Po-Br) se puede relacionar con el aumento en la producción de biomasa de los componentes del sistema silvopastoril (arbóreas y gramíneas), datos que se presentan más adelante.

En concordancia con lo anterior, Labrador (1996) señala que el aumento de la materia orgánica conduce a un descenso de los valores de pH, pues al aumentar el proceso de su descomposición se generan ácidos húmicos y ácidos fúlvicos, estos últimos, debido a su elevado contenido en cargas aniónicas, les confiere una gran aptitud para formar complejos estables con cationes polivalentes (Fe, Al, Cu, etc.). La abundancia de estos complejos es en parte responsable de su floculación a pH moderadamente ácidos.

Densidad poblacional de lombrices en el suelo

Se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre tratamientos para la variable cantidad de lombrices en el suelo, siendo mayores los valores para el tratamiento del sistema silvopastoril con respecto al monocultivo de pastura. En el cuadro 2 se muestran los valores totales de lombrices encontradas en el suelo.

Cuadro 2. Densidad poblacional de lombrices en el suelo.

Variable de respuesta	T1 (Po-Br)	T2 (Br)
No. lombrices/m ²	315 a	262 b

Nota: Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

Al comparar la cantidad de lombrices al inicio (95 lombrices/m²) y al final del período experimental, se nota un incremento en la población en los dos sistemas evaluados, siendo superior en el silvopastoril (315 lombrices/m²). Esta diferencia puede estar relacionada con una mayor producción de materia orgánica. Además de esto, al existir más sombra en este tratamiento, puede haber aumentado el contenido de humedad y disminuido la temperatura media en el suelo, lo que podría haber generado un ambiente más favorable para el desarrollo y reproducción de la población de lombrices.

Los promedios encontrados en el presente trabajo son superiores a los reportados por Fraile (1989), con valores de 184 lombrices/m² para pasturas con *E. poeppigiana*, en Turrialba, Costa Rica. Umaña (1996) reporta datos de 92 lombrices/m² en la misma zona pero para el año 1995. Es importante señalar que el trabajo de Umaña (1996) se realizó en el mes más seco (marzo) en la zona de Guápiles, por lo que la densidad de lombrices es baja debido a una menor humedad en el suelo (Fragoso y Lavelle, 1993).

Un factor asociado a la diferencia que existe entre los tratamientos es la cantidad de luz, pues, como menciona Martínez (1996), las lombrices son afectadas por la luz, por lo que se desarrollan en lugares con obscuridad, debido a que la exposición a los rayos ultravioleta las deseca ocasionándoles la muerte. Según Fraile (1989), mencionado por Esquivel (2002), el número de lombrices es mayor para parcelas con árboles (pastizales con *E. poeppigiana*) que para parcelas sin árboles. Esto sugiere que bajo árboles de *E. poeppigiana* el hábitat tiende a ser más "natural". De hecho, la mayor cantidad de lombrices observada por Fraile (1989) fue en

vegetación en libre crecimiento (227 lombrices/m²), donde se encontraban malezas, arbustos y árboles de diferentes alturas. Esto sugiere una mejor salud del suelo y mejores condiciones para cierta macrofauna.

Producción de biomasa del componente arbóreo

La producción promedio de biomasa para el poró podado cada seis meses fue de 2.724 kg MS ha⁻¹ año⁻¹. En un experimento llevado a cabo por el proyecto *Erythrina* (CATIE 1986), se reporta una producción de biomasa fresca en un kilómetro de cerca viva a los nueve meses de 3.906 kg, con una densidad de siembra de 1 m entre árboles (Estrada, 2001).

Producción de biomasa (kg MS corte⁻¹ y año⁻¹) de la gramínea asociada

No se encontraron diferencias estadísticas significativas ($p \geq 0.05$) para los valores de kg de MS corte⁻¹ y año⁻¹ entre los sistemas evaluados. En el cuadro 3 se muestran los valores promedio de la variable mencionada.

Cuadro 3. Rendimiento de materia seca de *Brachiaria brizantha*.

Variable de respuesta	T1 (Po-Br)	T2 (Br)
kg MS ha ⁻¹ corte ⁻¹	2.782 a	2.785 a
kg MS ha ⁻¹ año ⁻¹	33,392 a	33,424 a

Nota: Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

El contenido de materia seca del pasto está influenciado tanto por la frecuencia como por la intensidad del pastoreo, así como por la capacidad del mismo de interceptar la radiación solar y así poder fotosintetizar, además, por la capacidad de las raíces de captar las reservas orgánicas, el agua y los nutrientes almacenados a nivel de suelo y por los daños que reciban sus estructuras de desarrollo, entre otros factores.

En experimentos realizados por Villarreal (1998) se menciona que *Brachiaria brizantha* CIAT 26110 muestra un rendimiento de 20.3 t MS ha⁻¹ año⁻¹ en Santa Rosa de Pocosol (San Carlos), sin embargo, el mismo autor indica que en la zona de Chiriquí, Panamá, donde se reportaron 4000 mm año⁻¹ de precipitaciones y a una altura de 240 msnm, este mismo pasto obtuvo un rendimiento de 33 t MS ha⁻¹ año⁻¹. Indica, además, que esta *Brachiaria* puede ofrecer un mayor potencial de producción de forraje pero en condiciones de mejor fertilidad que las que presenta la zona de Santa Rosa de Pocosol.

Valor nutricional de la gramínea asociada

De acuerdo con el análisis estadístico, no se encontraron diferencias significativas ($p \geq 0,05$) entre tratamientos para las variables nutricionales (FAD, FND y PC) en la biomasa forrajera de la gramínea asociada. En el cuadro 4 se reportan los datos para las variables nutricionales estudiadas.

Cuadro 4. Valor nutricional de la *Brachiaria brizantha*.

Variable de respuesta	T1 (Po-Br)	T2 (Br)
% FDA	33.68a	33.93a
% FND	55.81a	56.97a
% PC	10.71a	10.51a

Nota: Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

Según estudios realizados por Daccarett y Blydenstein (1968), pasturas que crecen bajo 50% de cobertura de poró y otros árboles presentan incrementos en cuanto a valor nutricional (más PC y menos contenido de fibra) que pasturas a cielo abierto.

La fibra ácido detergente, el mejor predictor de la digestibilidad de un alimento, está compuesta básicamente de celulosa, lignina y sílice; además, su importancia radica en que está inversamente correlacionada con la digestibilidad del forraje. La lignina es un compuesto no glúcido de la pared celular que dificulta la accesibilidad de los microorganismos del rumen a la celulosa y la hemicelulosa, limitando la digestibilidad de estos componentes.

En una evaluación hecha por el CIAT (2001), se determinó que *Brachiaria brizantha* CV. Toledo alcanza concentraciones de PC en sus hojas de un 10% a una edad de 30 días. Los valores reportados se ajustan a lo reportado por esta investigación, tomando en cuenta que los muestreos se hicieron cada mes.

Rendimiento total de biomasa (kg MS ha⁻¹ año⁻¹) del sistema

El rendimiento (kg MS ha⁻¹ año⁻¹) total del sistema lo da la sumatoria del rendimiento de la gramínea asociada y el componente arbóreo. Para este caso se encontraron diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos. En el cuadro 5 se reportan los valores para la producción total de MS para cada tratamiento.

Cuadro 5. Rendimiento total de biomasa (kg MS ha⁻¹ año⁻¹).

Variable de respuesta	T1 (Po-Br)	T2 (Br)
kg MS ha ⁻¹ corte ⁻¹	36,116 a	33,424 a

Nota: Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

En el cuadro anterior se puede apreciar como el sistema silvopastoril T1 (Po-Br) es el que reporta mayor rendimiento total de biomasa. Se podría pensar que el pasto, al estar asociado con el poró, se podría ver afectado en su desarrollo al estar bajo sombra y en competencia por nutrientes, sin embargo, se puede decir que este efecto del componente arbóreo se ve compensado con la contribución del mismo a aumentar los contenidos de materia orgánica en el suelo, factor que, sin duda, es aprovechado por el pasto para su desarrollo, tal como sugieren los resultados en el cuadro 3.

Consideraciones generales

En un sistema silvopastoril no necesariamente los árboles y/o arbustos cumplen un propósito forrajero. Para el caso de esta investigación, es claro el beneficio directo en el suelo y su microfauna, pero se pueden adicionar otros beneficios no cuantificados, tales como:

- Aumento en el bienestar animal, ya que los árboles pueden estar contribuyendo a la reducción de la temperatura por efecto de su sombra, que favorece la eliminación de calor por evaporación y reduce la carga calórica de los animales, con lo que aumenta su productividad.
- La sombra también tiene implicaciones directas sobre el comportamiento, la reproducción y la supervivencia.
- Se puede considerar un incremento de la productividad del recurso suelo y el beneficio neto del sistema a largo plazo.
- Es posible asumir una reducción de riesgo a través de la diversificación de productos y servicios del sistema.
- Reducción de los efectos detrimentales del estrés climático sobre plantas y animales.
- Aumento de la biodiversidad

Conclusiones

Bajo las condiciones en las cuales se desarrolló el presente trabajo, se puede llegar a las siguientes conclusiones:

- No se encontraron diferencias significativas ($p \geq 0.05$) para los valores de pH pero sí para el contenido de materia orgánica en el suelo entre el sistema silvopastoril y el basado en *Brachiaria* como monocultivo.
- Se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) para los valores que reportaron la cantidad de lombrices en el suelo entre tratamientos, siendo el sistema silvopastoril el que presentó los mayores valores.
- Con respecto a la producción de materia seca de la especie forrajera, no se encontraron diferencias estadísticas significativas ($p \geq 0.05$) entre los sistemas evaluados, ni por corte ni por año, siendo la producción estadísticamente igual en cualquiera de los dos.
- En lo que respecta al valor nutricional del componente forrajero *Brachiaria*, no se encontraron diferencias significativas ($p \geq 0.05$) entre los dos sistemas evaluados.
- Se encontraron diferencias estadísticas ($p \leq 0.05$) en la biomasa total producida en el sistema silvopastoril, siendo superior a la del sistema *Brachiaria* en monocultivo.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Vicerrectoría de Investigación y Extensión (VIE) del Instituto Tecnológico de Costa Rica y al Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) por el financiamiento de esta investigación. A Ronald Meléndez, por facilitar su finca para desarrollar este trabajo. A Alexander Paniagua, Carlos Ramón Araya y Vinicio Salazar, por toda la ayuda brindada en la fase de muestreos de campo.

Bibliografía

- Camero, A., Ibrahim, M., Jair, A. & Camargo, J. (2000). *Agroforestería y Sistemas de Producción Animal en Centroamérica. Intensificación de la Ganadería de Centroamérica: Beneficios Económicos y Ambientales* (pp. 177-198). CATIE, FAO, SIDE.
- Casasola, F., Ibrahim, M. & Barrantes, J. (2005). *Los árboles en los potreros*. Serie Cuadernos de Campo. Proyecto Enfoques Silvopastoriles Integrados para el Manejo de Agroecosistemas. Turrialba, C.R.: CATIE.
- CATIE (1986). Final Project Technical Report: *Erythrina* spp. (Phase I: 3-p-82-0015). Turrialba, C.R.: CATIE.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). (2001). *Red Colombiana de Brachiarias. Resumen de logros 1995-2000*. Convenio Fondo Nacional de Ganaderos (Fedegan). Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR), Programa de pastos tropicales del CIAT. Manuscrito.
- Combe, J. & Budowski, G. (1979). Classification of agroforestry techniques, a literature review. En G. de las Salas (Ed.). *Workshop Agrofor. System Latin Amer* (pp. 17-47). Turrialba, C.R.: UNU/CATIE.
- Cordero, J. & Boshier, D. H. (Eds.). (2003). *Árboles de Centroamérica. Un manual para extensionistas*. Turrialba, C.R.: Oxford Forestry Institute (OFI, UK), CATIE.
- Esquivel, J. (2002). Comparación de Poró (*Erythrina berteroana*) y Madero negro (*Gliricidia sepium*) en un sistema silvopastoril con *Brachiaria brizantha*, con una asociación de *Brachiaria brizantha* y *Arachis pintoi*. II. Actividad Microbiana y Distribución Espacial de Lombrices. Atenas, C.R.
- Estrada, J. (2001). *Pastos y Forrajes para el Trópico Colombiano* (en línea). Manizales, Colombia. Disponible en http://hdl.handle.net/10888/gazqYiCAG&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=4&ved=0CCcQ6AEwAw#v=onepage&q&f=false.
- Fernández, M., Gyemge, J. & Schlichter, T. (2007). Balance of competitive and facilitative effects of exotic trees on a native. Patagonian grass. *Plant Ecology* 67-76.
- Fragoso, C. & Lavelle, P. (1992). Earthworm communities of tropical rain forest. *Soil Biology and Biochemistry*, 21(12), 1397-1408.
- Fraile, J. (1989). *Población de lombrices de tierra en una pastura de Cynodon plectosachyus (Pasto estrella) asociado con árboles de Erythrina poeppigiana (Poró), una pastura asociada con árboles de Cordia alliodora (Laurel), una pastura sin árboles y vegetación a libre crecimiento, en el CATIE, Turrialba, Costa Rica*. Tesis Mag. Sc. CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- García, A. (2010). Propagación vegetativa del Porotón *Erythrina Edulis* Triana ex micheli utilizando tres procedencias, tres diámetros de estacas con y sin hormonas en la granja. Obtenido de Repositorio. utn.edu.ec
- Gil, L., Espinoza, Y. & Obispo, N. (septiembre-diciembre, 2005). *Relaciones suelo-planta-animal en sistemas silvopastoriles* (en línea). CENIAP (Revista Digital del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Venezuela) no. 9. Obtenido de http://www.ciniap.gov.ve/ceniaphoy3/articulos/n9/arti/gil_1.htm
- Gilot, C. (1997). Effects of a tropical geophageous earthworm, *M. anomala* (Magascolecidae), on soil characteristic and production of a Yam crop in Ivory Coast. *Soil Biology and Biochemistry*, 29(3/4), 353-359.
- Jiménez, F., Muschler, R. & Köpsell, E. (2001). *Módulo de enseñanza agroforestal: Funciones y aplicaciones de sistemas agroforestales*. Turrialba, C.R.: CATIE.
- Labrador, J. (1996). *La materia orgánica en los agroecosistemas*. Madrid: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
- Lascano, C., Pérez, R., Plazas, C., Medrano, J., Pérez, O. & Argel, P. (2002). *Pasto Toledo (Brachiaria brizantha CIAT 26110). Gramínea de crecimiento vigoroso para intensificar la ganadería colombiana*. Villavicencio, Col.: Imágenes Gráficas S.A. Obtenido de http://webapp.ciat.cgiar.org/forrajes/pdf/brachiaria_brizantha_CV_toledo.pdf
- Martínez, C. (1996). *Potencial de la lombricultura: Factores que influyen en el comportamiento de las lombrices*. Influencia de la lombriz de tierra en el suelo. En A. Carballo, S. Bravo (Eds.). Elementos básicos para su desarrollo. Texcoco, México. México.
- Navas, A. (2007). *Sistemas silvopastoriles para el diseño de fincas ganaderas sostenibles* (en línea). ACOVEZ no. 16. Obtenido de http://www.produccionbovina.com/produccion_y_manejo_pasturas/manejo%20silvopastoril/85-sistemas.pdf
- Nair, P. K. R. (1985). *Classification of agroforestry systems*. Working paper no. 28. Nairobi: ICRAF.

- Nair, P. K. R. (1989). Classification of agroforestry systems. (pp 39-52). En P. K. R. Nair (Ed.). *Agroforestry systems in the tropics*. The Netherlands: Kluwer Academic Press/ICRAF.
- Odalys, T., Iglesias, J. M. & Reino, J. (2006). Comportamiento del germoplasma arbóreo forrajero en condiciones de Cuba. *Pastos y Forrajes*, 29(4).
- Ojeda, P., Restrepo, J., Villada, D. & Gallego, C. (2013). Sistemas silvopastoriles, una opción para el manejo sostenible de la ganadería. Santiago de Cali, Colombia: FIDAR, PRONATURA, CIAT.
- Pezo, D. & Ibrahim, M. (1999). Sistemas silvopastoriles. Turrialba, C.R.: CATIE-GTZ.
- Pinto-Ruiz, R., Gómez, H., Martínez, B., Hernández, F., Medina, F., Gutiérrez, R., Escobar, E. & Vázquez, J. (2005). Árboles y arbustos forrajeros del sur de México. *Pastos y Forrajes*, 28(2).
- Piñeros, R., Mora, D. & Holguín, A. (2011). Respuesta del pasto *Bothriochloa saccharoides* a diferentes intensidades de sombra simulada en el valle cálido del Magdalena en el Tolima (Colombia). *Corpoica Cienc. Technol. Agropecu.* 12(1), 42-50.
- Rusch, G. & Skarpe, C. (2009). Procesos ecológicos asociados con el pastoreo y su aplicación en sistemas silvopastoriles. *Agroforestería en las Américas*, 47, 12-17.
- Tian, G., Kang, B. T. & Brussard, L. (1997). Effect of mulch quality on earthworm activity and nutrient supply in the humid tropics. *Soil Biology and Biochemistry*, 29(3/4), 369-373.
- Umaña, C. (1996). *Mineralización de la material orgánica del suelo bajo tres ecosistemas del trópico húmedo en Costa Rica*. Tesis Lic. en Ingeniería Agronómica con énfasis en Fitotecnia, Universidad de Costa Rica.
- Villarreal, M. (1998). *Alternativas forrajeras para el mejoramiento de los sistemas de producción ganadera*. Informe final de Proyecto de Investigación. Alajuela, C.R.: ITCR Sede San Carlos-CONCIT.

Callogénesis y establecimiento del cultivo de células en suspensión de *Uncaria tomentosa* (Willd.) D.C. (uña de gato)

Callus formation of cell suspensions in *Uncaria tomentosa* (cat's claw)

Laura Sánchez-Calvo¹, Silvana Alvarenga-Venutolo²

Fecha de recepción: 21 de enero del 2014

Fecha de aprobación: 3 de mayo del 2014

Sánchez-Calvo, L; Alvarenga-Venutolo, S. Callogénesis y establecimiento del cultivo de células en suspensión de *Uncaria tomentosa* (Willd.) D.C. (uña de gato). *Tecnología en Marcha*. Vol. 28, N° 1, Enero-Marzo. Pág 105-120.

¹ Centro Nacional de Innovaciones Biotecnológicas (CENIBiot). CENAT. Costa Rica. Correo electrónico: lasanchez@cenat.ac.cr

¹ Centro de Investigación en Biotecnología, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: savenutolo2208@gmail.com

Palabras clave

Uncaria tomentosa; callogénesis; suspensiones celulares; cinética de crecimiento.

Resumen

Uncaria tomentosa, conocida como uña de gato, es una planta medicinal originaria de Perú que se emplea en medicina natural, principalmente como antiinflamatoria, inmunoestimulante, antioxidante y citotóxica en varias líneas celulares cancerígenas (HL-60, A549 y HEp-3).

Es necesario crear estrategias biotecnológicas para el estudio y extracción de los compuestos activos de esta planta, tales como el cultivo de células en biorreactores, lo que permitiría la producción de los metabolitos secundarios a gran escala, bajo condiciones controladas.

Previamente al escalamiento del cultivo, es necesario estandarizar los protocolos de callogénesis y de establecimiento de suspensiones celulares.

En el presente trabajo se probaron dos protocolos de inducción de callo a partir de segmentos foliares de plantas *in vitro* de *Uncaria tomentosa*. Posteriormente se estableció el cultivo de células en suspensión. Se elaboraron las cinéticas de crecimiento del proceso de callogénesis y del cultivo en suspensión.

Se determinó que la composición del medio de cultivo más efectivo para la inducción de callo es el Murashige y Skoog (MS) (1962) complementado con 2 mg/L de ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D) y 1 mg/L de ácido 3-indolbutírico (AIB). Además de que produjo la mayor biomasa, el callo fue friable, adecuado para el establecimiento de suspensiones celulares.

En el cultivo de células en suspensión se utilizó el medio de cultivo más efectivo en el proceso de callogénesis, anteriormente citado. Además, se evidenció la predominancia de dos morfotipos de células, tanto en callo como en suspensiones celulares, con características propias, según la etapa de cultivo.

Keywords

Uncaria tomentosa; cat's claw; callus formation; cell suspensions; growth kinetics.

Abstract

Uncaria tomentosa, known as cat's claw, is a medicinal plant native to Peru, used in herbal medicine, mainly as anti-inflammatory, immune stimulant, antioxidant and cyto toxic in several cancer cell lines (HL-60, A549 and HEp-3).

It's necessary to generate biotechnological strategies for studying and extraction of active compounds from the plant, such as cell cultures in bioreactors. Allowing the production of secondary metabolites scale under controlled conditions.

Prior to the escalation of the crop, it is necessary to standardize protocols callus induction and cell suspension setting.

In the present work we tested two protocols callus induction from leaf segments vitroplants *Uncaria tomentosa*. Subsequently established in cell culture suspension. Were prepared growth kinetics of the process of callus formation and suspension culture.

It was determined that the composition of the most effective medium for callus induction was Murashige and Skoog (MS) (1962) supplemented with 2 mg/L 2,4-Dichlorophenoxyacetic

acid (2,4-D) and 1 mg/L 3-Indole butyric acid (IBA). Besides that produced the highest biomass, the callus was friable, suitable for establishment of cell suspensions. The cell culture suspension was used in the culture medium more effective in the process of callus formation, cited above. Furthermore, it showed the predominance of two morphological types of cells, in both, callus and cell suspensions with characteristics depending on the cultivation stage.

Introducción

Las plantas tienen la capacidad de producir gran cantidad de compuestos bioactivos como parte de su metabolismo secundario, algunos de uso medicinal. En la mayoría de los casos, estos compuestos no participan en procesos bioquímicos vitales pero desempeñan un importante rol en la interacción planta-ambiente, como defensa contra depredadores (Sepúlveda-Jiménez et al., 2003), funciones alelopáticas y atracción de polinizadores, entre otras (Trejo-Tapia y Rodríguez-Monroy, 2007; Rodríguez et al., 2007).

Entre las especies de plantas con propiedades medicinales destaca *Uncaria tomentosa*, denominada comúnmente uña de gato o bejuco de agua, que es una liana originaria de América del Sur, específicamente de Colombia y Perú. Se distribuye por la Amazonia brasileña, Ecuador, Bolivia y la región atlántica de los países centroamericanos (Zevallos y Tomazello, 2006; Alvarenga et al., 2008).

Se ha demostrado la efectividad de *U. tomentosa* en el tratamiento de enfermedades como la gastritis, úlceras gástricas, diferentes tipos de cáncer, artritis y asma; al mismo tiempo, existe evidencia de su actividad inmunoestimulante, citotóxica, antiinflamatoria y antioxidante (Gonçalves et al., 2005; Carvalho et al., 2006).

Las propiedades medicinales de la uña de gato se atribuyen a la síntesis de gran cantidad de metabolitos secundarios tales como: alcaloides, glicósidos triterpenoides, esteroides y flavonoides, flavonas y fenoles (Alvarenga, 2010; Heitzmam et al., 2005; Laus, 2004). Los alcaloides pentacíclicos tienen gran relevancia farmacológica, ya que se consideran responsables de la actividad inmunoestimulante y citotóxica en varias líneas de cáncer (Trejo-Tapia et al., 2005).

Actualmente existe una gran demanda comercial de los extractos de *U. tomentosa*, a raíz del descubrimiento de la actividad biológica de la planta desde hace más de tres décadas, incrementada por las manifestaciones de su poder curativo basado en su acción inmunoestimulante, documentada en enfermos de cáncer y sida y la factibilidad de su uso combinado con antivirales y otros productos relacionados (Obregón, 1997).

Dada la importancia medicinal de esta planta, en los últimos años se han hecho esfuerzos por generar sistemas de cultivo utilizando herramientas biotecnológicas para la producción a gran escala de oxindol-alcaloides, por medio del cultivo de células de esta especie y su escalamiento en biorreactores (Trejo-Tapia et al., 2005).

El cultivo de células vegetales en suspensión es una herramienta que permite conocer diversos aspectos del cultivo, como su comportamiento metabólico, fisiológico y bioquímico, así como controlar y optimizar las condiciones de cultivo para la producción de biomasa, o bien la producción de metabolitos secundarios empleando diferentes elicitores (Moscatiello et al., 2013).

Esta estrategia requiere un proceso inicial que incluye la formación de callo friable y posteriormente el establecimiento de suspensiones celulares. Para ello, es necesario conocer la cinética de crecimiento de las células y su comportamiento en estos sistemas, para así estimar

el tiempo requerido de subcultivo y los días en que se produce el crecimiento activo del cultivo celular (Trejo-Tapia et al., 2005; George, 2008).

En la presente investigación se describe el crecimiento de células de *U. tomentosa* en las etapas de callogénesis y el establecimiento de células en suspensión para ser cultivadas en biorreactor.

Metodología

Inducción de callogénesis

El estudio se realizó en el Centro de investigación en Biotecnología (CIB) del Instituto Tecnológico de Costa Rica, en Cartago, durante el año 2010.

En los ensayos de inducción de callo de *U. tomentosa* se empleó tejido foliar de plantas germinadas in vitro a partir de semillas recolectadas en la zona atlántica de Costa Rica, específicamente en la provincia de Limón, en el cantón de Pococí. Las semillas fueron desinfectadas y sembradas en un medio de cultivo semisólido M&S (1962), con 3% de sacarosa, y cuando tenían una semana de haber germinado se subcultivaron en un medio basal, suplementado con 1 mg/L de ácido giberélico (AG₃) durante 22 días.

Se probaron dos tratamientos en medios de cultivo semisólidos para la inducción de callo a partir de segmentos foliares de *U. tomentosa* in vitro. El tratamiento 1 consistió en un medio basal con sales y vitaminas Murashige y Skoog (M&S, 1962) con 3% (m/v) de sacarosa y suplementado con 1 mg/L de ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D) y 1 mg/L de ácido 3-indolbutírico (AIB), mientras que el tratamiento 2 fue suplementado con 2 mg/L de 2,4-D y 1 mg/L de AIB. Ambos medios de cultivo fueron gelificados con 8g/L de agar y se ajustó el pH a 5,7. Además se sembró un tratamiento control, con sales M&S (1962), fuente de carbono y sin reguladores de crecimiento.

Los segmentos de hoja incluían vena media y tenían un área superficial de 1 cm², en la cual se realizaron pequeñas cortaduras con el bisturí. Se inocularon dos explantes por frasco de cultivo, ambos con la superficie abaxial en contacto con el medio, y se mantuvieron en condiciones de oscuridad a una temperatura aproximada de 27 °C ± 2 °C durante 30 días. Se trabajó con un total de 96 repeticiones por tratamiento.

Con el fin de determinar la producción de callo, a los 37 días de cultivo se calculó el peso fresco y el peso seco (g) de los callos inducidos en los tratamientos empleados. Se tomó una muestra al azar de 26 callos por tratamiento, se pesaron en fresco, empleando una balanza analítica, inmediatamente después de ser retirados del frasco de cultivo. Para la obtención del peso seco, los callos se sometieron a un proceso de secado en una estufa a 70 °C durante 24 horas. Posteriormente, con los datos obtenidos, se realizó el análisis ANOVA con un 95% de confianza, con el programa estadístico Minitab 15.1.0.0. Se hicieron observaciones sobre la friabilidad y color del callo.

Curvas de crecimiento de callo

A los 27 días del cultivo inicial ya se mostraba callo debidamente formado, por lo cual se subcultivó 1,00 g de callo procedente del tratamiento 2 en un medio de cultivo con la misma composición, para trazar la cinética de crecimiento. Se tomaron tres muestras cada dos días hasta que los callos presentaron síntomas de muerte celular. Se determinó el peso fresco y seco (mg) de los callos, siguiendo el protocolo de Trejo y colaboradores (2007).

Estudio de la morfología celular en las diferentes etapas de callo

Para el análisis histológico del callo se realizaron observaciones de células en las diferentes etapas (fase *lag*, exponencial y de muerte), proveniente del tratamiento 2, es decir, el medio de cultivo M&S (1962) suplementado con 2 mg/L de 2,4-D y 1 mg/L de AIB, subcultivado en el mismo medio. Se tomó una muestra de callo y se colocó en un portaobjetos con una gota de agua destilada. Además, se realizaron observaciones de las células teñidas con Azul de Evans a una concentración de 0,05 M, para determinar su viabilidad.

Establecimiento y cinética de crecimiento de suspensiones celulares

De acuerdo con la curva de crecimiento obtenida, se utilizaron callos provenientes del tratamiento 2, subcultivados en el mismo medio de inducción y en etapa exponencial, para establecer los tratamientos de suspensiones celulares, según el protocolo de Rodríguez-Monroy (2009, com. pers.). El medio de cultivo líquido empleado en esta etapa consistió en sales M&S (1962), suplementado con 2 mg/L de 2,4-D y 1 mg/L de AIB, con 30g/L de sacarosa (el mismo medio de inducción de callo). Se inocularon en total 30 Erlenmeyer, manteniendo una relación de medio de 1/5 del volumen del Erlenmeyer, es decir, 25 ml de medio de cultivo en Erlenmeyer de 150 ml y se colocaron en agitación orbital de 100rpm.

A los 10 días de transferencia de los callos al medio líquido, las células se dejaron asentar, manteniéndolas sin agitación por 20 minutos, y se descartó el sobrenadante (medio de cultivo con restos de células muertas), procurando que las células y los agregados se mantuvieran en el matraz, al que se agregó medio de cultivo fresco, hasta completar nuevamente el volumen establecido inicialmente.

Diez días después (día 20 desde la inoculación inicial), se repitió el procedimiento anteriormente descrito, con la diferencia de que, una vez colocado el medio fresco, se pusieron en agitación nuevamente los Erlenmeyer a 100rpm durante 5 minutos. Una vez transcurrido ese lapso, se traspasó el contenido de dos Erlenmeyer de 125ml a uno de 250 ml, procurando que los grumos y agregados visiblemente más grandes no fueran transferidos, con el fin de ir estableciendo suspensiones celulares finas y eliminando dichos agregados.

Una vez que se obtuvo una suspensión celular fina y transcurridos 10 días después del último cambio de medio, se filtraron las suspensiones haciendo uso de un tamiz de 80 mesh, con el fin de recuperar células.

Se establecieron suspensiones en 32 Erlenmeyer de 125 ml que contenían 1 g de las células retenidas en el tamiz, en 25 ml de medio de cultivo.

Para trazar la curva se tomó una muestra de 10 ml de suspensión celular de tres Erlenmeyer diferentes, agitándolos manualmente en el momento del muestreo para lograr homogeneidad. Cada muestra se procesó por separado y los muestreos se realizaron cada tres días durante 33 días.

Cada muestra fue colocada en un tubo graduado y se dejó sedimentar durante una hora, con el fin de determinar el volumen celular empacado, empleando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ PCV} = (\text{vol. celular sedimentado} / \text{volumen total}) \times 100$$

Las muestras se filtraron al vacío con un papel filtro Albet 502, con un poro de 7 µm a 11 µm de diámetro. Los papeles filtro fueron pesados previamente, tanto en fresco como en seco, empleando una balanza analítica.

Una vez filtradas las muestras, se pesaron en fresco (mg) y se colocaron en una estufa a 70 °C durante 24 horas. Posteriormente, se determinó el peso seco (mg) de las muestras empleando una balanza analítica.

Estudio de la morfología de las células en suspensión

La morfología celular de las suspensiones celulares se describió mediante la visualización de las células y agregados celulares en el microscopio de luz.

Se realizaron tinciones con Azul de Evans. Para ello se tomaron 0,5 ml de suspensiones celulares y se incubaron en un tubo Eppendorf®, durante 5 minutos con la misma cantidad de Azul de Evans a una concentración de 0,05M a temperatura ambiente. Posteriormente se realizaron las observaciones en el microscopio de luz.

Además, se realizaron tinciones con diacetato de fluoresceína (DFA). Se preparó una solución madre con concentración de 1000µg/ml. Se elaboró una solución de trabajo, diluyendo 10µl de la solución madre en 990µl de agua destilada. Finalmente, se tomó una muestra de 500µl de la suspensión celular y se colocó en un tubo Eppendorf® con la misma cantidad de solución de trabajo. Se colocaron 100µl de la muestra en un portaobjetos y las células se visualizaron en el microscopio de fluorescencia.

Resultados y discusión

Inducción de callogénesis

Se obtuvo la inducción de callo friable en ambos tratamientos evaluados, con una respuesta muy similar entre sí. Los segmentos de hoja se mantuvieron verdes desde el momento de la inoculación hasta el día 10, a partir del cual se observó un cambio en la coloración de las hojas, que empezaron a mostrarse amarillentas y engrosadas por sectores, principalmente cerca de las regiones de corte, mientras que al día 15 se pudo observar la formación de callo como tal (figura 1).

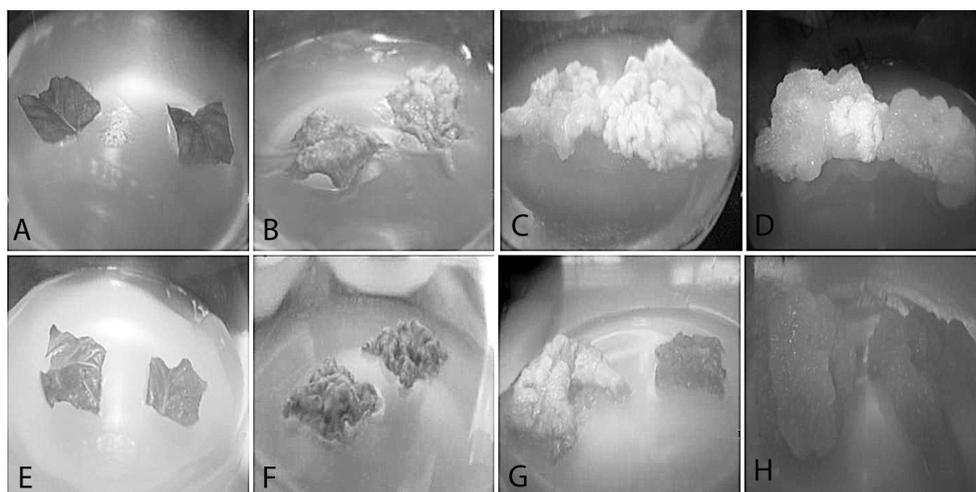


Figura 1. Inducción de callo a partir de segmentos de hoja de *Uncaria tomentosa*. Tratamiento 1 (suplementado con 1 mg/L de 2,4-D y 1 mg/L de AIB): A) Día 5 de cultivo. B) Día 10. C) Día 18. D) Día 27. Tratamiento 2 (suplementado con 2 mg/L de 2,4-D y 1 mg/L de AIB): E) Día 5 de cultivo. F) Día 10. G) Día 18. H) Día 27.

En el tratamiento control (desprovisto de reguladores de crecimiento) no se produjo callo, las hojas se mantuvieron verdes durante los primeros 15 días y posteriormente empezaron a necrosarse por sectores, hasta que las células murieron.

Esta respuesta evidencia que la composición básica del medio de cultivo suplementado con los reguladores de crecimiento (2,4-D y AIB) favorecieron la proliferación celular en segmentos de hoja de *U. tomentosa*. Probablemente, esta respuesta se presentó por el efecto sinérgico de la presencia de reguladores endógenos en las condiciones físicas de cultivo, que promovieron modificaciones del metabolismo celular y por consiguiente se indujo la respuesta morfogénica de división en las células (Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería, 2007; George, 2008).

La formación de callo, empleando como regulador de crecimiento el 2,4-D, coincide con investigaciones realizadas, en las que se informa que la presencia de esta auxina induce la callogénesis utilizando como explante inicial segmentos de hoja de *U. tomentosa* (Alvarenga et al., 2002).

La influencia de auxinas en la formación de callo podría estar relacionada con la capacidad que tienen estos compuestos de estimular la división de las células e influir indirectamente en la regulación del ciclo celular, estimulando notablemente la expresión de ciclinas a nivel transcripcional, por ejemplo, las de tipo D, desencadenando la activación de las quinasas necesarias para la etapa G1 del ciclo celular (Arellano et al., 2008).

En la etapa G1, período en el que las células crecen y acumulan nutrientes, se reporta que las auxinas y las citocininas inducen la acumulación de ciclinas y por tanto promueven un nuevo ciclo celular (Smith y Atkins 2002; Jurado, 2010).

La inducción del callo se evidenció inicialmente en las zonas de corte (bordes) y en las regiones de incisión de las hojas, posiblemente debido a la tendencia de los tejidos vegetales a formar callo a partir de las heridas como una reacción defensiva natural (George, 2008). En condiciones in vitro, las auxinas promueven mayor división celular en las zonas de corte del explante, donde se observó una capa fina de células que, días después, inician la etapa de proliferación masiva y, por consiguiente, la formación del callo (Gallardo et al.; 2004; Krikorian, 1995).

Al colocar los callos en medio líquido se observó una disgregación aproximadamente de un 75% a un 85% después de siete días en agitación de 100rpm, por lo cual los callos se consideran friables, con textura suave, aparentemente apta para el establecimiento de suspensiones celulares. Cabe destacar que este dato se determinó de manera cualitativa, mediante la observación del comportamiento de los callos y las suspensiones celulares.

En ensayos realizados en géneros pertenecientes a la familia de las rubiáceas, específicamente en *Borojoa patinoi* y *Coffea arabica*, se ha obtenido buena friabilidad en los callos formados, empleando el regulador de crecimiento 2,4-D como inductor principal, solo o en combinaciones con otras auxinas o citocininas (González, 2003; Martínez et al., 2007).

Los callos se agruparon por color en tres tipos: blanco, amarillo y amarillo pálido translúcido. Los tres tipos de callo fueron friables y se disgregaron fácilmente, sin embargo, el callo translúcido mostró una mayor friabilidad. Algunos callos mostraron los tres fenotipos, mientras que otros presentaron una combinación de los tipos mencionados anteriormente, distribuidos por regiones. Estas diferencias pueden deberse a la variabilidad de los genotipos de las plantas con las que se trabajó en esta fase, debido a que explantes provenían de plántulas germinadas in vitro. Además, en la misma hoja existen diferentes tipos de tejidos que, al proliferar, podrían dar como resultado callo con diferentes tipos celulares, lo cual podría evidenciarse con diferentes coloraciones en el callo (Martínez et al., 2007).

A pesar de que los dos tratamientos indujeron la formación de callo friable cualitativamente similar, el análisis ANOVA de una vía mostró la existencia de diferencias significativas entre ambos, tanto para la variable peso fresco ($P= 0,000$), como peso seco ($P= 0,000$) (Cuadro 1). En este análisis se aplicó la prueba de Tukey con un 95% de confianza (Cuadro 1).

Cuadro 1. Biomasa fresca y seca de los callos de *U. tomentosa* inducidos en tratamiento 1 y tratamiento 2 a los 37 días de cultivo.

Tratamiento	Peso fresco promedio (g)	Peso seco promedio (g)
1 M&S (1962) + 1 mg/l de 2,4-D + 1 mg/l de AIB	1,6998 ^a	0,0961 ^a
2 M&S (1962) + 2 mg/l de 2,4-D + 1 mg/l de AIB	2,1554 ^b	0,1301 ^b
Control M&S (1962) sin reguladores de crecimiento	0 ^c	0 ^c

Nota: Datos para la misma variable, con letras diferentes, poseen diferencias estadísticamente significativas, según la Prueba Tukey $P \leq 0,05$

El tratamiento 2 (2 mg/L de 2,4-D y 1 mg/L de AIB) presentó la mayor producción de biomasa seca (0,1301 g) y el mayor peso fresco (2,1554 mg) en las muestras analizadas, mientras que la formación de callo en el tratamiento control fue nula, como se observa en el Cuadro 1. Tomando en cuenta que la única diferencia entre ambos tratamientos fue la concentración del 2,4-D (relación 2:1), puede afirmarse que probablemente la presencia de esta auxina en mayor concentración fue la que indujo una mayor tasa de división celular, evidenciada en las variables de peso fresco y seco.

Se reporta que el 2,4-D es la auxina de mayor empleo y, por ende, más efectiva para la inducción de callo, tanto en monocotiledóneas como en dicotiledóneas (George, 2008). En estas últimas, las concentraciones de mayor uso de este compuesto para la inducción de callo se encuentran generalmente en el rango de 1,1 mg/L a los 3,31 mg/L (Machakova et al., 2008).

Estos resultados coinciden con investigaciones realizadas sobre inducción de callo en *Borojoa patinoi* (Rubiaceae) a partir de tejido foliar, empleando diferentes concentraciones de 2,4-D en condiciones de oscuridad. Se obtuvo que el tratamiento con 2 mg/L de este compuesto presentó valores más altos de peso fresco, lo que concuerda con los resultados obtenidos en este ensayo (Martínez et al., 2007).

Debido a que el tratamiento 2, con mayor concentración de 2,4-D, mostró rendimientos superiores, se estableció el cultivo de células en suspensión a partir de este tratamiento y se elaboró la curva de crecimiento respectiva.

Curvas de crecimiento de callo

En la figura 2 se muestra la curva de crecimiento elaborada a partir de callo inducido en el medio 2. Se observa que la mayor producción de biomasa (peso fresco y seco) se registra al día 19 de cultivo, a partir del cual el peso empieza a disminuir.

En la cinética de crecimiento se observa una etapa *lag* de 13 días, en seguida se inicia la etapa de crecimiento exponencial, en la que, como es de esperar, se observan los valores de peso

fresco y seco crecientes, hasta el día 19, en el que se obtuvo el máximo valor tanto de peso fresco como seco (2236,60 mg y 152,37 mg, respectivamente), lo cual indica que el día 19 el callo mostró el máximo incremento con los componentes nutricionales y las condiciones físicas proporcionados (oscuridad y temperatura de $27\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$); ese mismo día se inicia la etapa de desaceleración del crecimiento de callo y su muerte.

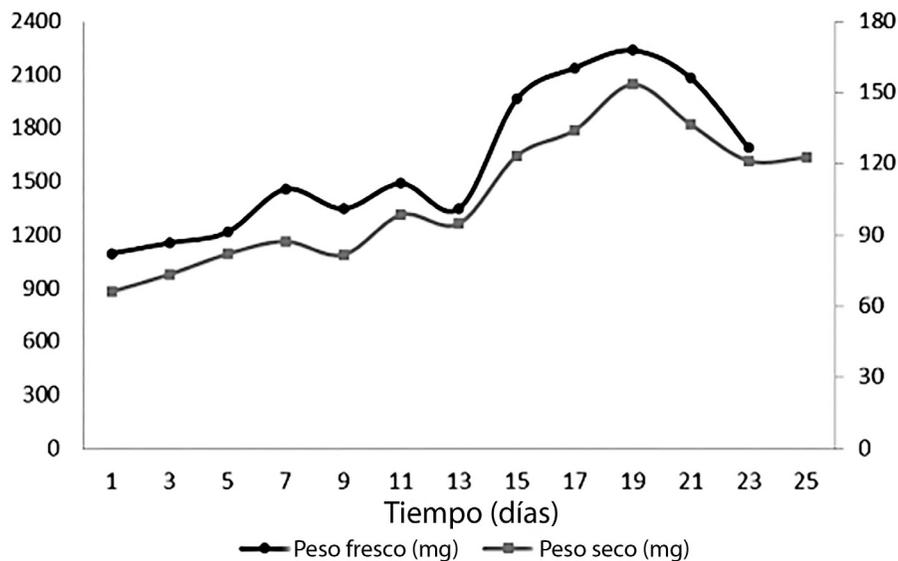


Figura 2. Cinética de crecimiento del callo de *U. tomentosa* subcultivado en el tratamiento 2(M&S (1962), con 2 mg/L de 2,4-D y 1 mg/L de AIB).

Estudio de la morfología celular en las diferentes etapas de callo

Al visualizar en el microscopio de luz muestras de callo de *U. tomentosa*, se distinguen células de morfología diversa, con un predominio en número de las células redondeadas y las células alargadas, con presencia de pared celular delgada y con inclusiones citoplasmáticas, principalmente cloroplastos.

Las células alargadas, de forma tubular, probablemente se derivan del mesófilo de empalizada de las hojas y se encuentran diferenciadas. Además, se presentan células redondas, isodiamétricas con menor grado de diferenciación, lo que se evidencia en la escasez de cloroplastos en su interior (González et al., 2010). Estas últimas mostraron inclusiones protoplasmáticas, brillantes en el microscopio de luz, principalmente gránulos de almidón.

Alvarenga y colaboradores (2002) reportan la existencia de estos dos tipos de células en callo de *U. tomentosa* inducido, de igual manera, con 2 mg/L de 2,4-D, lo cual coincide con los resultados obtenidos en esta investigación.

En la etapa inicial (fase *lag*) se observaron claramente los dos tipos de células mencionadas e inclusiones celulares brillantes en el interior de las células, más notorias en las células redondas (figura 3).

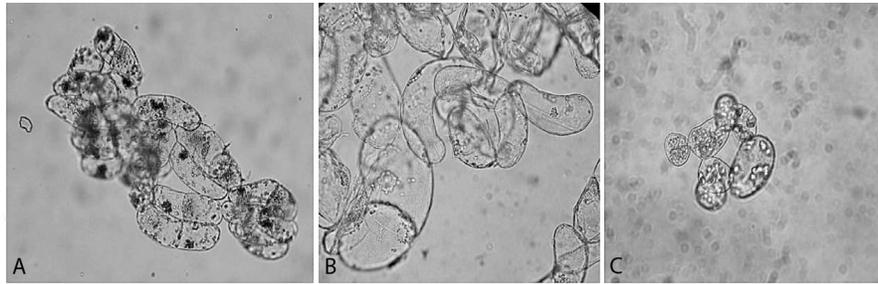


Figura 3. Visualización de células de *U. tomentosa* en la fase *lag* de la curva de crecimiento. Aumento 40X. A) Agregado celular. B) Células alargadas. C) Células redondas formando agregados celulares.

En la fase exponencial, se observaron células en etapa de división celular. Como muestra la figura 4, es posible identificar algunas, recientemente divididas, con la placa celular en formación, así como células con fibras visibles del citoesqueleto, propio de la etapa de mitosis (George, 2008). Además, se observaron células redondas con inclusiones citoplasmáticas y células alargadas, procedentes del tejido parenquimático de empalizada de hoja.

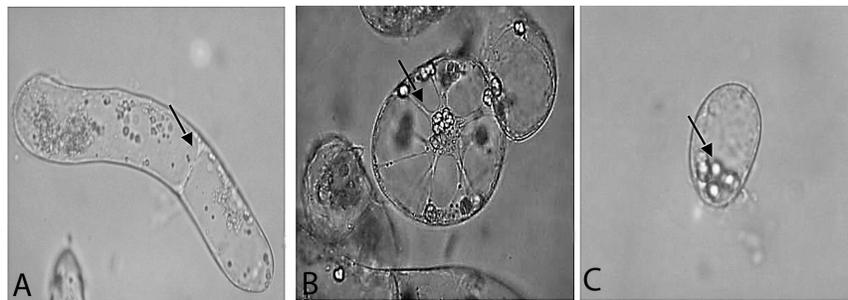


Figura 4. Visualización de células de *U. tomentosa* en fase exponencial. Aumento 40X. A) Célula en división celular. B) Célula con citoesqueleto visible. C) Célula redonda con inclusiones brillantes en el microscopio de luz.

En la etapa de muerte, que se inició a partir del día 19 de cultivo, las células presentaron necrosis y pérdida de la integridad de la membrana celular, así como falta de turgencia, por lo que se muestran más pequeñas y deformes (figura 5) (Sánchez, 2001).

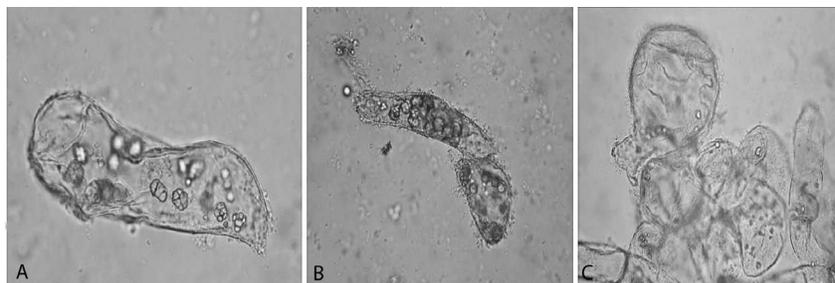


Figura 5. Visualización en el microscopio de luz de células de *U. tomentosa* en fase de muerte. Aumento: 40X. A) Célula con ruptura en la membrana celular. B) Célula alargada y redonda en etapa de muerte. C) Agregado celular plasmolizado.

Con la muerte celular se detienen los procesos biológicos de las células, provocando cambios morfológicos, funcionales y bioquímicos irreversibles que les impiden realizar sus funciones vitales. Por esta razón, las células dejan de dividirse y al morir liberan su contenido citoplasmático, lo que coincide con una disminución en el peso fresco y seco del cultivo (Sánchez, 2001).

Establecimiento y cinética de crecimiento de suspensiones celulares

En el establecimiento de las suspensiones celulares, el callo fue disgregado efectivamente en el medio de cultivo líquido, con agitación orbital, y se obtuvo una suspensión celular fina.

En la figura 6 se ilustran las cinéticas de crecimiento de las células de *U. tomentosa* en suspensión, a partir del peso fresco y la biomasa seca.

En la curva elaborada a partir de la determinación del peso seco se observó una etapa inicial de nueve días, en la que el crecimiento del cultivo fue bajo y lento. Este comportamiento coincide con lo reportado en la literatura durante la fase lag, ya que las células se encuentran en un proceso de adaptación a las nuevas condiciones nutricionales del medio, para luego incrementar la velocidad de división celular durante la fase exponencial (Shigeta et al., 1996).

A partir de la determinación del peso seco, la etapa de crecimiento exponencial comenzó a partir del día 9, mientras que el peso fresco y el volumen celular empacado señalan el día 15 como inicio de la fase exponencial. Estas variantes pueden deberse a diferencias entre los métodos empleados para medir el crecimiento, o bien a una imprecisión en la medición del peso fresco y volumen celular empacado del día 15, ya que no se espera una disminución en la concentración celular una vez iniciado el crecimiento, cuando las condiciones se mantienen constantes.

La etapa exponencial se caracterizó por un incremento de biomasa, como indicador de una mayor concentración celular a consecuencia de la división activa de las células (figura 6).

En las curvas trazadas con base en la biomasa se presentó un valor máximo al día 27 de cultivo, en el que concluye la fase exponencial, con pesos de 54,07 mg de peso fresco por mililitro y 7,32 mg de peso seco por mililitro de suspensión celular. Esto se debe a que en la fase exponencial las células jóvenes y activas biológicamente alcanzan su máxima tasa de división (Freire, 2003).

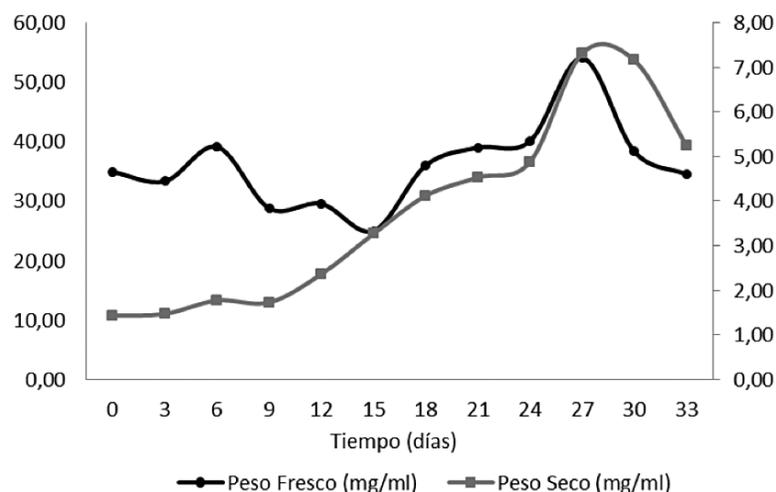


Figura 6. Cinética de crecimiento de suspensiones celulares de *U. tomentosa*, considerando peso fresco y peso seco.

Según lo reportado por Caballero y Cardona (2007), bajas densidades de inóculo o grandes cantidades de nutrientes pueden prolongar la fase *lag* y exponencial, y se espera que estas etapas sean más cortas al emplear un inóculo inicial mayor.

La fase estacionaria del cultivo fue muy corta o casi inexistente, ya que a partir del día 27 de cultivo se inició la etapa de muerte, probablemente debido a que, al alcanzar el número máximo de células, se produce una rápida lisis y muerte de las células a consecuencia del consumo de nutrientes en el medio de cultivo (Caballero y Cardona, 2007). En esta etapa se observó una coloración más oscura en las suspensiones celulares y microscópicamente las células mostraron daños a nivel de membrana.

Alvarenga y colaboradores (2008) elaboraron curvas de crecimiento en esta especie, empleando una cantidad tres veces mayor de células iniciales. Se obtuvo el valor máximo en el día 12 de cultivo, lo que demuestra que una mayor biomasa de células iniciales provoca una cinética de crecimiento corta, mientras que una cantidad baja de células iniciales genera una curva de crecimiento más extensa, a consecuencia de una mayor disponibilidad de nutrientes, lo que provoca menor estrés por compuestos limitantes en el medio de cultivo (Bedoya y Hoyos, 2010).

Con base en la cinética de crecimiento, es necesario realizar los subcultivos a la mitad de la fase exponencial, es decir, cerca del día 21, para garantizar que las células se encuentran en crecimiento activo.

La curva de crecimiento elaborada con base en el volumen celular empacado (VCE) mostró correspondencia con las etapas de las cinéticas de crecimiento realizadas con base en el peso seco de las suspensiones y resultó muy cercana a las elaboradas con base al peso fresco (figura 7).

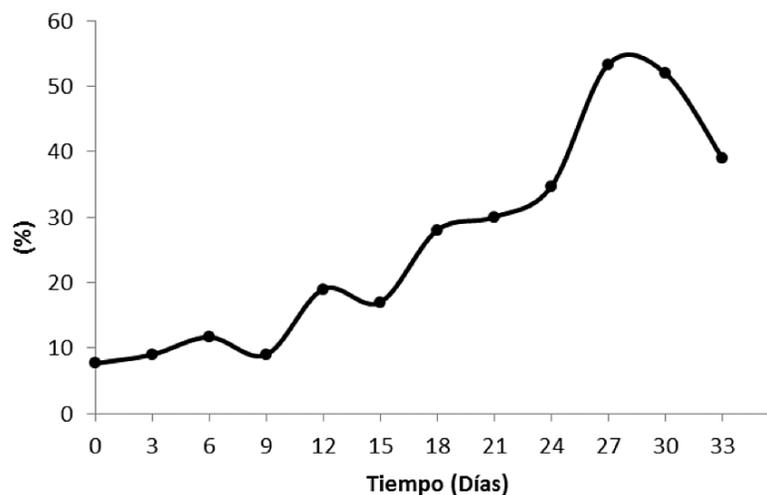


Figura 7. Cinética de crecimiento para suspensiones celulares de *U. tomentosa* a partir de la determinación del volumen celular empacado.

Estudio de la morfología de las células en suspensión

En cuanto al análisis microscópico del cultivo en suspensión, se observaron dos tipos de células, unas alargadas y otras redondas, con pared celular gruesa, en su mayoría viables, con inclusiones amarillentas y brillantes en el microscopio de luz (figura 8).

Se determinó que las células en suspensión forman agregados pequeños, de 10 a 20 células aproximadamente, aunque también fue posible visualizar células individuales en suspensión. La formación de agregados celulares pequeños es muy característica de las células vegetales en suspensión, lo que probablemente se debe a que las células, al dividirse, no se separan adecuadamente o bien se asocian posteriormente (Arias et al., 2009; Mustafa et al., 2011).

En la etapa de crecimiento exponencial se visualizaron células que se encontraban en división celular, mostrando el tabique en la región ecuatorial de éstas, mientras que en otras se dio evidencia de formación del huso mitótico (figura 8A).

En las fases *lag* y exponencial de la curva de crecimiento de las suspensiones celulares, tratadas con DFA y observadas en el microscopio de fluorescencia, se pudo observar la presencia de células fluorescentes, por lo que se deduce que las células estaban vivas, debido a que, por su actividad enzimática interna (acción de las esterasas citoplasmáticas), son capaces de hidrolizar el DFA para originar fluoresceína, compuesto que al exponerse a una fuente de luz de alta intensidad (en este caso una lámpara de mercurio) es excitado y libera energía en una longitud de onda tal que se puede observar de coloración verde fluorescente (figura 8B) (Brigham et al., 1995; Maestú et al., 2008).

Al teñir las células con Azul de Evans, se observó la integridad de la membrana en la fase *lag* y exponencial, es decir, que no permiten la entrada del colorante, y, por consiguiente, se observan sin teñir, por lo que son células viables (figura 8C) (Herrera y Rodríguez, 2008).

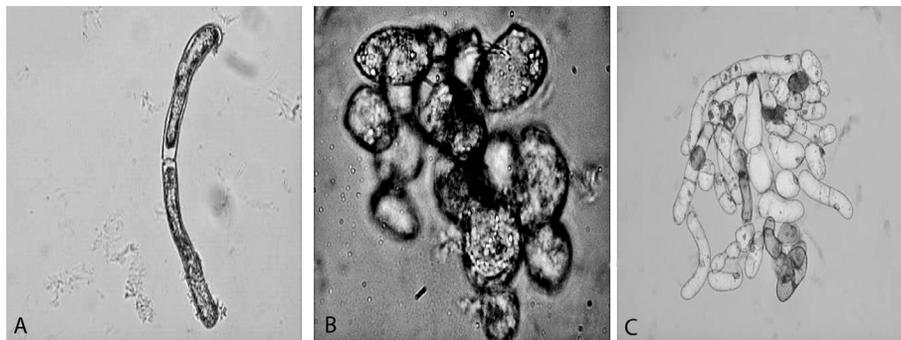


Figura 8. Visualización en el microscopio de células de *U. tomentosa* en fase exponencial con aumento de 40X. A) Microscopía de luz. B) Microscopía de fluorescencia. C) Tinción con Azul de Evans.

En la etapa de muerte de las células en suspensión se pudo evidenciar que el cultivo empezó a perder viabilidad, ya que de manera cualitativa se determinó la disminución de células fluorescentes. Por otra parte, las células mostraron coloración azul al aplicar el Azul de Evans, tal como se muestra en la figura 9.

En esta misma fase, las células presentaron daños en la membrana celular que provocaron plasmólisis, es decir, una pérdida en la turgencia, mostrándose irregulares y con apariencia "arrugada". Este comportamiento es propio de esta fase de la cinética de las células, evidenciándose en la disminución del peso fresco y seco del cultivo. La etapa de muerte en las suspensiones celulares se presenta a menudo por la formación de especies reactivas del oxígeno (ROS), como consecuencia del metabolismo celular (Trejo-Tapia et al., 2007). Los ROS provocan estrés oxidativo en las células y activan las enzimas oxidasas. En algunos casos, las células liberan fenoles al medio de cultivo y estos provocan un efecto tóxico, que evita la proliferación y si no son retirados del medio causan la muerte celular (Ogita, 2005; Azofeifa, 2009).

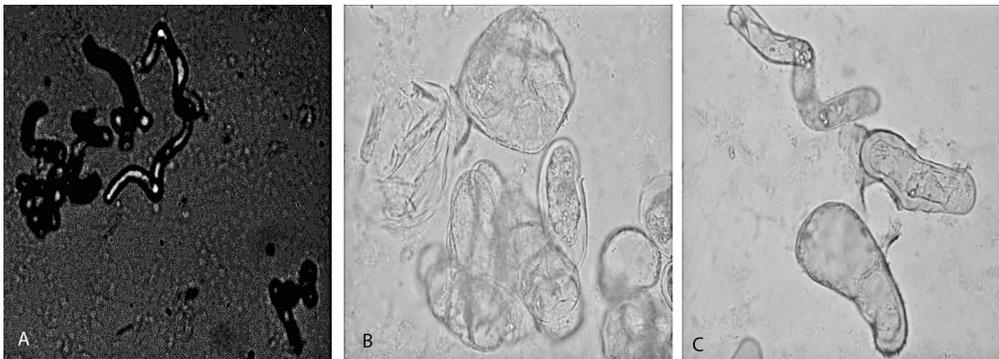


Figura 9. Visualización en el microscopio de células en suspensión de *U. tomentosa* en fase de muerte. A) Microscopía de fluorescencia (10X). B) Microscopio de luz (40X). C) Tinción con azul de Evans (40X).

Para concluir, se debe resaltar que el medio de cultivo M&S (1962) con 2 mg/L de 2,4-D y 1 mg/L de AIB y 3% de sacarosa fue efectivo en la inducción de callo friable, y produjo la mayor cantidad de biomasa fresca y seca en el cultivo de células en suspensión.

Agradecimientos

Las autoras agradecen al Dr. Mario Rodríguez-Monroy, del Centro de Productos Bióticos (CEPROBI), y al Instituto Politécnico Nacional de México (IPN), por el conocimiento, información y capacitación brindados. También al Ing. Carlos Alvarado, del Instituto Tecnológico de Costa Rica, por los aportes y seguimiento a la investigación, así como la revisión del documento.

Bibliografía

- Alvarenga, S., Alán, E. & Peraza, J. (2002). *Informe Final. Estudio de la biología, la propagación vegetativa y el cultivo in vitro de Uncaria tomentosa* (Willd.) D.C. (uña de gato). Cartago, C.R.: Fundación Neotrópica-ITCR.
- Alvarenga, S., Arnáez, E., Moreira, I., Alán, E., Peraza, J., Romero, E., Vargas, W., Loaiza, J. & Barrios, M. (2008). Domesticación de *Uncaria tomentosa* (uña de gato) en Costa Rica. En R. Oliver, Tabeada, M. y Granjeno, A. (Comp.). *Manejo integrado de Recursos Bióticos*. AGT Editor S.A.
- Alvarenga, S. (2010). Establecimiento in vitro y cultivo de células de la uña de gato (*Uncaria tomentosa*) (Willd.) D.C. *Tecnología en marcha*, 23(5), 24-33.
- Arellano, Y., García, E. & Vázquez, J. (2008). Estimulación de la síntesis de ADN y de proteínas del ciclo celular por auxinas durante la germinación de maíz. *Agrociencia*, 42(6), 637-644.
- Arias, M., Aguirre, A., Angarita, M., Montoya, C. & Restrepo, J. (2009). Aspectos ingenieriles del cultivo *in vitro* de células vegetales para la producción de metabolitos secundarios. *DYNA*, 76(157), 109-121.
- Azofeifa, A. (2009). Problemas de oxidación y oscurecimiento de explantes cultivados *in vitro*. *Agronomía Mesoamericana*, 20(1), 153-175.
- Bedoya, J. C. & Hoyos R. A. (2010). Efecto de la relación agitación-aireación sobre el crecimiento celular y la producción de azadiractina en cultivos celulares de *Azadirachta indica* A. Juss. *Rev. Fac. Nal. Agr.*, 63(1), 5293-5305.
- Brigham, L. A., Woo, H. H. & Hawes, M. C. (1995). Root border cells as tools in plant cell studies. *Methods Cell Biol.* 49, 377-387.
- Caballero, C. & Cardona, N. (2007). *Evaluación del crecimiento celular y consumo de sustrato a partir del establecimiento de suspensiones celulares de Borojoa patinoi* Cuatrec. Obtenido de <http://bdigital.eafit.edu.co/bdigital/PROYECTO/P660.6CDC112/marcoTeorico.pdf>
- Carvalho, M. V., Penido, C., Siani, A. C., Valente, L. M. M. & Henriques, M. G. O. (2006). *Inflammopharmacology*, 14(48).

- Estrada, M., Vernon, E. & Cruz, F. (Eds.). (2007). *Inducción de callo en la planta medicinal Buddleja cordata Kunth (tepozán)*. Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería (12, Morelia, Michoacán). México, DF.
- Gallardo, J., Gómez, R., Tejeda, M., Posada, L., Herrera, I., Reyes, M., García, L. & Freire, M. (2004). Empleo de secciones de tallo de plantas *in vitro* de papaya (híbrido IBP 42-99) para obtener callos con estructuras embrionarias. *Biotecnología Vegetal*, 4(4), 213-216.
- George, E. F. (2008). Plant Tissue Culture Procedure – Background. En E. F. George, M. A. Hall y G. De Klerk (Eds.). *Plant Propagation by Tissue Culture*. 3 ed. The Netherlands: Springer.
- Gonçalves, C., Dinis, T. & Batista, M. T. (2005). Antioxidant properties of proanthocyanidins of *Uncaria tomentosa* bark decoction: a mechanism for anti-inflammatory activity. *Phytochemistry* 66, 89-98.
- González, V. (2003). Estudio del proceso de callogénesis en genotipos promisorios de cafeto (*Coffea canerophora* P). *Revista Colombiana de Biotecnología*, 5(1), 16-22.
- González, O. S., Sam, O., Hernández, M., Coronado, M. J. & Silva, J. J. (2010). Estudios histológicos de la embriogénesis somática: una necesidad para el conocimiento de los procesos biotecnológicos y la biodiversidad en el cultivo del boniato (*Ipomoea batatas* (L.) LAM. *Cuadernos de Biodiversidad* 23-28.
- Heitzmam, M., Neto, C. C., Winiarz, E., Vaisberg, A. J. & Hammond, G. B. (2005). Ethnobotany, phytochemistry and pharmacology of *Uncaria* (Rubiaceae). *Phytochemistry* 66, 5-29.
- Herrera, M. & Rodríguez, A. (2008). Evaluación del crecimiento, actividad de hemoperoxidasas y remoción de fenantreno de los cultivos celulares de *Fouquieria splendens* y *Fouquieria fasciculata*. *Polibotánica*, 25, 101-119.
- Jurado, S. (2010). *Estudio de la proteína F-box SKP2A de Arabidopsis thaliana en la división celular y en la respuesta a auxina*. Tesis Dr. Biol. Universidad Complutense de Madrid.
- Krikorian, A. D. (1995). Hormones in tissue culture and micropropagation. En P. J. Davies (Ed.). *Plant Hormones: Physiology, Biochemistry and Molecular Biology*. The Netherlands: Kluwer Acad. Publ.
- Laus, G. (2004). Advances in chemistry and bioactivity of the genus *Uncaria*. *Phytother. Res.* 18, 259-274.
- Machakova, I., Zazimalova, E. & George, E. F. (2008). En E. F. George, M. A. Hall y G. De Klerk (Eds.). *Plant Propagation by Tissue Culture*. 3 ed. The Netherlands: Springer.
- Maestú, F., Ríos, M. & Cabestrero, R. (2008). *Neuroimagen: Técnicas y procesos cognitivos*. Barcelona: Ed. Masson.
- Martínez, M., Hernández, C. A. & Restrepo, L. F. (2007). Estandarización de un protocolo para la obtención de callos friables de borojó (*Borojoa patinoi* CUATR.) Fase I. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 9(2), 45-55.
- Moscatiello, R., Baldan, B. & Navazio, L. (2013). Plant Cell Suspension Cultures. En Maathuis, F. J. M. (Ed.). *Plant Mineral Nutrients: Methods in Molecular Biology*. Vol. 953. Springer.
- Murashige, T. & Skoog, G. (1962). A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. *Physiol. Plant*, 15, 473-497.
- Mustafa, N., De Winter, W., Van Iren, F. & Verpoorte, R. (2011). Initiation, growth and cryopreservation of plant cell suspension cultures. *Nature Protocols*, 6(6), 715-742.
- Obregón, V. L. (1997). Uña de gato (Cat's claw). Género *Uncaria*. Estudios botánicos químicos y farmacocinéticos de *Uncaria tomentosa* y *Uncaria guianensis*. 3 ed. Perú.
- Ogita, S. (2005). Callus and cell suspension culture of bamboo plant, *Phyllostachys nigra*. *Plant Biotechnology*, 22, 119-125.
- Rodríguez-Monroy, M. (2009). *Protocolos de inducción de callo y establecimiento in vitro de células en suspensión de U. tomentosa*. Morelos, México: CEPROBI (Centro de Desarrollo de Productos Bióticos), IPN (Instituto Politécnico Nacional).
- Rodríguez, J., Sanabria, M., Rodríguez D. & Rangel, M. (2007). *Determinación de metabolitos secundarios presentes en el extracto etanólico de Lippia organoides*. XVII Con. Ven. Bot. 705-708.
- Sánchez, V. (2001). Mecanismos reguladores de la muerte celular no necrótica. *Rev. Cubana Invest. Biomed*, 20(4), 266-74.
- Sepúlveda-Jiménez, G., Porta-Ducoing, H. & Rocha-Sosa, M. (2003). La participación de los metabolitos secundarios en la defensa de las plantas. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 21(3), 355-362.
- Shigeta, J., Sato, K. & Mii, M. (1996). Effects of initial cell density, pH and dissolved oxygen on bioreactor production of carrot somatic embryos. *Plant Science*, 115, 109-114.

- Smith, P. M., Atkins & C. A. (2002). Purine biosynthesis: Big in cell division, even bigger in nitrogen assimilation. *Plant Physiology*, 128, 793-802.
- Trejo, G., Cerda, C., Rodríguez, M. & Ramos, A. (2005). Monoterpenoid Oxindole Alkaloid Production by *Uncaria tomentosa* (Willd) D.C. Cell Suspension Cultures in a Stirred Tank Bioreactor. *Biotechnology Progress*, 21(3), 786-792.
- Trejo, G., Sepúlveda, G., Trejo, J., Cerda, C., De la Torre, M., Rodríguez, M. & Ramos, A. (2007). Hydrodynamic Stress Induces Monoterpenoid Oxindole Alkaloid Accumulation by *Uncaria tomentosa* (Willd) D.C. Cell Suspension Cultures via Oxidative Burst. *Biotechnology and Bioengineering*, 98(1), 230-238.
- Trejo-Tapia, G. & Rodríguez-Monroy, M. (2007). La agregación celular en la producción de metabolitos secundarios en cultivos vegetales *in vitro* *Interciencia*, 32(10), 669-674.
- Zevallos, P. & Tomazello, M. (2006). Anatomia do lenho de *Uncaria guianensis* e *U. tomentosa* (Rubiaceae) do Estado do Acre, Brasil. *Acta Amazônica*, 36(2), 169-176.

La virtualidad en los procesos educativos: reflexiones teóricas sobre su implementación

Virtuality in the educational process: theoretical reflections on its implementation

Cristian Moreira-Segura¹, Brenda Delgadillo-Espinoza²

Fecha de recepción: 27 de enero del 2014
Fecha de aprobación: 18 de mayo del 2014

Sánchez-Calvo, L; Alvarenga-Venutolo, S. La virtualidad en los procesos educativos: reflexiones teóricas sobre su implementación. *Tecnología en Marcha*. Vol. 28, N° 1, Enero-Marzo. Pág 121-129

-
- 1 Tutor virtual certificado por la Organización de Estados Americanos (OEA), Máster en Ciencias de la Educación, estudiante del programa de Doctorado en Ciencias Naturales para el Desarrollo (DOCINADE), profesor de la Escuela de Ciencias y Letras, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Sede San Carlos. Costa Rica. Teléfono: (506) 2401-3131. Correo electrónico: cmoreira@itcr.ac.cr.
 - 2 Tutora virtual certificada por la Organización de Estados Americanos (OEA), Médico especialista en epidemiología de campo. FETP-Costa Rica. Máster Gerencia de la Salud, Caja Costarricense de Seguro Social, Ciudad Quesada, Costa Rica. Teléfono: (506)2460-8830. Correos electrónicos: brendelgadillo@gmail.com, bdelgadi@ccss.sa.cr.

Palabras clave

Educación virtual; entornos virtuales; aprendizaje; enseñanza.

Resumen

Este artículo ofrece un esbozo de las cualidades de un aula virtual, las características propias de un proceso de enseñanza-aprendizaje de naturaleza virtual, el papel que tienen los recursos y los participantes y el perfil de un tutor. Se enfatiza en el rol del tutor en este proceso de construcción y reconstrucción de conocimiento en un espacio virtual y en las experiencias que cada uno de los integrantes aporta en cuanto a su propia vivencia como estudiante o tutor virtual. Además, se comparan los conceptos relacionados con la virtualidad con el de educación tradicional y se brinda una valoración general de estos procesos. Finalmente, se hace un repaso de los elementos que se deben considerar al plantear e implementar un curso en modalidad virtual.

Keywords

Virtual education; virtual environment; learning, teaching.

Abstract

This paper provides a general outline of a virtual classroom, the characteristics of a virtual teaching / learning process of this nature, the role of participants and materials, and features that are desirable in a virtual tutor. It emphasizes in the role of the tutor, in this process of construction and reconstruction of knowledge, using a virtual space. It also focuses on the importance of the experiences that each of the members, as a student or as a virtual tutor, brings to the process. It provides a comparison between the concepts related to virtuality and traditional education. It also provides a general assessment of these processes and attempts to supply an overview of elements to be considered when initiating and implementing a course in a virtual way.

Introducción

La incorporación de las Nuevas Tecnologías de Información y Comunicación (NTIC) en las actividades cotidianas toma cada vez más fuerza. Las NTIC no se consideran ajenas a prácticamente ningún proceso que requiera manejo y procesamiento de información, ni tampoco se restringen a un solo campo profesional. La educación no escapa a esta realidad. La incorporación de la tecnología en los procesos educativos se vislumbra como algo más que una moda, y toma cada vez más relevancia en la oferta académica de las instituciones de educación. Esta oferta académica ha evolucionado conforme a las demandas de los usuarios y gracias al apoyo de las facilidades tecnológicas de la consolidada Web 2.0 y la emergente Web 3.0. Además, se ha evolucionado en la manera de plantear y abordar las actividades educativas de modalidad presencial hacia aquellas en que esta presencialidad es escasa, como la bimodalidad, o nula, como la virtualidad.

Los espacios virtuales de aprendizaje favorecen aspectos que la presencialidad limita o simplemente no contempla. Entre estas facilidades de la virtualidad, las más relevantes se asocian con el rompimiento de la barrera de la distancia, la rigidez de los horarios y la facilidad de la distribución del tiempo de estudio sumado a la posibilidad de combinarla con las múltiples ocupaciones que conlleva el estilo de vida moderno. Estos atractivos elementos hacen de este

tipo de aprendizaje uno cada vez más apetecido entre los estudiantes y profesionales que buscan mejorar sus destrezas, habilidades y conocimientos generales o profesionales.

En los procesos virtuales debe prevalecer la comunicación fluida y efectiva, en una atmósfera cálida y con un acompañamiento constante de las actividades que realizan los participantes. Para esto se hace necesario definir un protocolo de comunicación, denominado netiqueta o etiqueta en la red, a efectos de que lo plano que pueda ser la comunicación entre computadoras se favorezca con la cercanía y calidez entre los interlocutores. Todo esto sin perder de vista el aprovechamiento de los recursos tecnológicos disponibles, con la apropiada selección de las bondades de la sociedad del conocimiento. Para la Corporación Colombia Digital (2012), los modelos pedagógicos están en crisis. De esquemas lineales, autoritarios, analógicos, se está pasando a modelos en red, participativos y digitales. La unidisciplinariedad es sustituida por la convergencia e interacción entre múltiples disciplinas. La enseñanza y el aprendizaje “in situ” quedan atrás frente a las alternativas de trabajo virtual y compartido.

El profesor-tutor como participante del proceso educativo

El paradigma de que el “profesor” monopoliza el conocimiento y solo lo transmite quedó en el olvido. Ahora se le considera un “consejero”, “experto” o “facilitador” que guía, orienta y realimenta los procesos, en vez de imponerlos.

En este paradigma de enseñanza-aprendizaje es indispensable que el tutor virtual exhiba una serie de características y atributos con el objeto de guiar y promover un proceso educativo dinámico. En el Cuadro 1 se enlistan y resumen las características que, a criterio de los autores, son las más representativas y necesarias del tutor de un proceso virtual.

Consideraciones para el tutor

La labor docente es muy compleja, pues no solo requiere actitudes para el manejo de los alumnos sino también aptitudes para el dominio de su especialidad académica y de las técnicas y los procesos en el ambiente educativo virtual. En una reflexión sobre su realidad docente, Zúñiga (2010) comenta que los académicos no deben limitarse a transmitir los contenidos de su especialidad sino que están llamados a colaborar con los estudiantes para que construyan el conocimiento dentro de este nuevo contexto social, en el que la capacidad de autoformación se convierta en una actividad imprescindible. Además, se deben introducir cambios en los modelos educativos vigentes, los materiales y hasta en la capacidad técnica y de infraestructura de los centros universitarios. De manera más general, Borges (2005) señala que el docente debe ser consciente de las acciones y carencias en las que puede incurrir y que puedan estimular la desmotivación y frustración de sus estudiantes; este autor recomienda a los tutores de entornos virtuales evitar las siguientes situaciones:

- No haber sido estudiante de un curso en línea.
- No dar respuesta o dar una respuesta tardía a las dudas que le presenten los estudiantes.
- Tener una presencia esporádica o nula en el aula durante el desarrollo del curso.
- No ser claro en sus indicaciones.
- Ser excesivamente rígido.
- No mostrar cercanía con los estudiantes.
- Contribuir a la sobrecarga del estudiante.
- No fomentar la interacción y la colaboración.

Cuadro 1. Características deseables en un tutor virtual.

Características	Descripción
Sujeto creador	Cada área del saber, cada especialidad, cada contenido programático es particular y por ende es necesario que el tutor explore, cree, adapte y valore nuevas actividades y verifique su funcionalidad y aplicabilidad en un contexto determinado.
Elemento motivador	La distancia es la mayor virtud y, a la vez, el peor enemigo de la virtualidad. Los ambientes virtuales por sí solos son fríos y solitarios. Es por tal razón que el papel del tutor es crucial para evitar este efecto negativo. Debe reforzar y promover los logros y rectificar los errores de manera que sean alicientes para continuar en busca de una mejora constante.
Conciliador	El trabajo del tutor, así como el diseño de las actividades, deben invitar a la reflexión, la crítica y la discusión. La discusión es el espacio para la búsqueda de convergencias entre los participantes, los contenidos y los aprendizajes.
Promotor de la participación y la integración	Las actividades que se diseñen deben promover el carácter colectivo del aprendizaje, privilegiando la producción de conjunto más que la individual. El actor principal es el estudiante-participante, que protagoniza la discusión, la reflexión y la creación encauzada y guiada por el tutor.
Observador del proceso de aprendizaje	Cada participante es un elemento imprescindible del proceso educativo virtual y, como tal, el seguimiento formativo, la realimentación y el acompañamiento deben ser del interés de cada uno de ellos pues se privilegia así un aprendizaje autónomo.
Impulsor de ideas	La interacción con los participantes, el tutor y los contenidos es crucial para generar ideas que se conecten y se relacionen no solo con el curso en sí sino con la vida real. El tutor debe trascender y generar espacios donde se pueda "conectar" con la realidad de los participantes para que este aprendizaje sea significativo y lograr avanzar hacia el ansiado y esperado objetivo de aprender a aprender.
Organizado	La planeación y ejecución de un curso virtual requiere una dosis extra de organización. Antes del inicio de un curso, es necesario que el tutor haya definido no solamente los contenidos programáticos que seguirá sino los mecanismo de evaluación y seguimiento, así como los medios, técnicas, recursos y tiempo asignado que utilizará para desarrollar tales contenidos. También debe tener un registro individualizado de la evolución de cada participante para verificar su avance con respecto a los demás, pero, sobre todo, con respecto a sí mismo.

Fuente: Elaboración propia.

En este modelo virtual, estas características dan como resultado que el propio alumno sea capaz de construir su conocimiento con el profesor como un guía y mentor, otorgándole la libertad necesaria para que explore el ambiente tecnológico, pero estando presente cuando tenga dudas o surja algún problema (Requena, 2008), en cuyo caso se denominará sujeto aportante. Ello supone primar aquellos recursos y usos de las NTIC que permiten, precisamente, que el profesor pueda seguir de manera continuada el proceso de aprendizaje del alumno y ofrecer observaciones constructivas, sensibles y adecuadas.

El estudiante como protagonista de su aprendizaje

La reflexión crítica, la relación de los conocimientos nuevos con los que ya son parte del individuo, no son más que aprendizaje duradero o, de manera más teórica, aprendizaje significativo. Para Rodríguez (2011), el aprendizaje significativo supone cuestionamiento y requiere la implicación personal de quien aprende, es decir, una actitud reflexiva hacia el proceso y el objeto de aprendizaje tendente a que el discente se pregunte qué quiere aprender, por qué y para qué aprenderlo significativamente.

Este proceso de reconstrucción se realiza en función y a partir de un amplio conjunto de elementos que conforman la estructura cognitiva del aprendiz: capacidades cognitivas básicas,

conocimiento específico de dominio, estrategias de aprendizaje, capacidades metacognitivas y de autorregulación, factores afectivos, motivaciones y metas, representaciones mutuas y expectativas. Ese rol protagónico de los participantes se potencia con las actividades colectivas que invitan a la reflexión individual mediante la interacción con el colectivo de participantes. Se espera que este individuo adquiera y refuerce, durante el proceso, ciertas características tales como la disposición para aprender en un entorno virtual, la capacidad de aprender de manera autónoma pero a la vez de agruparse para trabajar en colectivo, de buscar y expandir el conocimiento provisto por los materiales y, sobre todo, la capacidad de analizar y vincular los saberes propios del entorno virtual con los de su entorno real. Se plantea al participante como el dueño de su aprendizaje en un proceso de construcción constante. Dicho más claramente, el aprendizaje se produce cuando problematiza lo que el alumno ya sabe con lo que debería saber.

Virtualidad y aprendizaje significativo

Según Bolívar (2009), el aprendizaje significativo corresponde a la construcción del conocimiento donde unas piezas encajan con otras en un todo coherente. Por lo tanto, para que se produzca un verdadero aprendizaje, es decir, un aprendizaje a largo plazo que no sea sometido al olvido, es necesario conectar los conocimientos nuevos con los previos, por lo que se hace imprescindible presentar estos conocimientos al alumno de manera coherente y no arbitraria, “construyendo” de manera sólida los conceptos, interrelacionándolos unos con otros en forma de red de conocimiento. La función del docente es engarzar los procesos de construcción del alumno con el saber colectivo culturalmente organizado y en relación directa con su contexto social. Por eso se insiste en formar al estudiante, que va a verse inmerso en este contexto, y cuánto más al profesional que va a formarse. Con el propósito de realzar esos aspectos positivos, las actividades didácticas que se planteen deben desarrollar el aprendizaje significativo y tener al menos las siguientes características:

- Que partan de conocimientos previos y fomenten que el participante relacione lo que aprenderá.
- Que permitan relacionar el contenido con la propia experiencia.
- Que sean interesantes y novedosas.
- Que sean dinámicas y motivadoras para retarlos en el proceso de aprendizaje.
- Que a través de ellas se pueda construir: que los integrantes se sientan partícipes de ese proceso de construcción.
- Que los alumnos puedan generar nuevas actividades de aprendizaje.
- Que permitan tomar lo mejor del aprendizaje autónomo y transformarlo en colaborativo (OEA, 2010).

El diseño pedagógico en un entorno virtual involucra características particulares que procuran fomentar algo más que el mero incremento o cúmulo de conocimiento. Para la Corporación Colombia Digital (2012), la flexibilidad y la capacidad de adaptación, el saber aprender a aprender, la habilidad de navegar entre mares de información reconociendo lo que es confiable y útil, la percepción de sí mismo como un generador de conocimientos y no solamente como un consumidor de estos, la disposición a trabajar colectivamente en la resolución de un problema, serán mucho más importantes que la cantidad de datos que se puedan repetir de memoria contestando las evaluaciones todavía en boga. Aún más, autores como Torres, Prieto y López (2012) afirman que el buen uso de las nuevas tecnologías de la información para la docencia es, sin duda, una opción ventajosa, tanto para el profesorado como para el alumnado; no obstante, aunque la habilidad y facilidad de las herramientas requiere de un período de adaptación y

práctica, las dificultades pueden ser superadas con la planificación explícita del uso de la plataforma y la valoración del esfuerzo continuo requerido del alumnado. Es claro entonces, que la práctica educativa virtual favorece el aprendizaje y procura que sea más perdurable, con mayor significado y por tanto de mayor relevancia para el participante.

Los paradigmas de educación tradicional y educación virtual

La virtualidad trasciende la mera extracción de información de sitios web o la descarga de archivos para ser leídos; implica un proceso de análisis y formación de relaciones cognitivas. En este contexto, el aula virtual debe ser el medio para pensar y aprender, no solamente para intercambiar documentos y comunicarse de manera asincrónica.

Las actividades diseñadas para un entorno virtual deben estimular la construcción del conocimiento en el alumno para que sean eficaces. De esta manera se intuye que las estrategias de aprendizaje son similares tanto en la educación virtual como en la presencial, pero las actividades de aprendizaje deben ser diseñadas específicamente para trabajar con cada uno de los paradigmas ya citados. Un aula virtual exige trabajar escalonadamente bajo nuevos esquemas, pues la tecnología ha generado espacios disruptivos de enseñanza-aprendizaje. Uno de los desafíos que tiene un tutor virtual consiste en “acoplar” las mejores prácticas de la educación tradicional y adaptarlas a nuestra realidad tiempo-espacio. Se puede llamar a este proceso “reinención”, en pos de maximizar positivamente lo mejor de cada tipo de enseñanza.

En un contexto amplio, la educación tradicional tiene un carácter rígido e inflexible; por otro lado, la virtualidad expone a los participantes a situaciones más amplias y flexibles que los obligan no solo a recolectar contenido sino a procesarlo y buscarle una utilidad práctica. Tal como se ha sugerido en este texto, la experiencia educativa virtual se nutre de procesos de aprendizaje atribuibles a la práctica presencial como mecanismo para generar conocimiento. No obstante, la virtualidad supone un proceso de construcción constante, de apropiación de conocimientos tanto del entorno virtual como de la discusión con los otros participantes y la lectura e interpretación de la información. Los procesos educativos, al igual que cualquier proceso humano, tienen una indiscutible tendencia a evolucionar hacia niveles óptimos y de acuerdo con los cambios propios de la dinámica humana. Es claro que los medios instruccionales y la educación en general deben responder a un nuevo contexto y ajustarse en tiempo y espacio a sus beneficiarios. Un nuevo componente se suma a estos procesos educativos y corresponde a un criterio propio de la modernidad: la flexibilidad. El cuadro 2 resume algunos elementos comparativos entre el denominado paradigma educativo tradicional y el paradigma virtual.

Los recursos en la educación virtual

La mediación, el acompañamiento que da el tutor, la interacción con los demás participantes pierden su efecto si los materiales utilizados no responden a las características propias del ambiente virtual. Son estos materiales los que determinan el interés y el progreso de los participantes. Según plantea la Corporación Colombia Digital (2012), herramientas como los *blogs*, redes sociales y *wikis* están generando espacios virtuales de aprendizaje no formal que las instituciones formales educativas, en general, desaprovechan. Aquí prevalece la importancia de las instrucciones claras, precisas y sin ambigüedad. Es en este aspecto donde el tutor marca la diferencia y facilita o entorpece la correcta consecución de las actividades planteadas. Para alcanzar dichos objetivos se utilizan recursos como los mapas mentales, foros escritos y de audio, chats, formularios en línea y portafolios digitales.

Cuadro 2. Comparación entre los paradigmas tradicional y virtual

Elemento	Paradigma tradicional	Paradigma virtual
Rol del profesor	Fuente de conocimiento.	Tutor o facilitador.
Proceso	Centrado en el profesor.	Centrado en el alumno.
Énfasis de la actividad	Enfatiza la enseñanza.	Enfatiza el aprendizaje.
Tipo de actividades	Actividades expositivas, informativas.	Actividades colaborativas, interactivas.
Conocimiento	El profesor disemina la información que conoce.	El alumno genera conocimientos partiendo de lo que conoce.
Horario	Tiempo fijo.	Tiempo flexible.
Los participantes	No todos pueden participar al mismo tiempo.	Todos participan al mismo tiempo.
Tipo de trabajo	Trabajo individual.	Trabajo grupal.
Recursos	Los recursos en el aula son limitados.	Disponibilidad de recursos ilimitados, como ofrece el Internet.

Fuente: Elaboración propia.

La metodología en la educación virtual

Las NTIC deben utilizarse para conseguir que el proceso de enseñanza-aprendizaje coadyuve en la adquisición del pensamiento crítico de los estudiantes, llevándoles al desarrollo de sus propias habilidades y a cooperar en el logro del fin último del aprendizaje: *aprender a aprender*. La flexibilidad de los medios digitales permite combinar y aplicar distintas metodologías. La incorporación de la modalidad virtual presupone una serie de ventajas de carácter académico; Moore y Kearsley (2011) destacan las siguientes:

- El estudiante dedica más tiempo a pensar en profundidad, dado que dispone de más tiempo para meditar sus respuestas y organizarlas en períodos más largos. Esto estimula el pensamiento reflexivo y desinhibe a los estudiantes que muestran dificultades para expresarse fluidamente en clase.
- Se estimula el pensamiento crítico y la capacidad de resolver problemas prácticos.
- Aunque la cantidad del trabajo del profesor aumenta, paradójicamente, su concentración en un solo medio permite ahorrar tiempo.
- Existe una relación costo-beneficio a favor, en vista de que no se requieren grandes inversiones en infraestructura, gastos de traslado y alimentación o mobiliario de la estructura, entre otros.

La mediación del tutor y realimentación a los participantes

Es necesario recordar que el proceso de mediación (interacción virtual) no es unidireccional, sino que se da en muchas direcciones: entre el tutor y los contenidos, el tutor y las actividades, el tutor y los participantes, el tutor y la plataforma, por mencionar algunas. La mediación entre el tutor y los participantes tiene una altísima importancia en este tipo de enseñanza debido a los elementos que se han señalado y discutido en párrafos anteriores, que son tan sutiles y

paradójicamente relevantes con respecto al sentimiento de pertenencia que se debe tener en un grupo, la generación de un vínculo afectivo y la cercanía que se debe tener en la distancia del espacio virtual.

La retroalimentación es el mecanismo de (re)direccionamiento y confirmación que se tiene para las actividades que se asignan. La oportuna intervención del tutor puede evitar frustración y desencanto, así como promover actitudes positivas y relaciones exitosas y generar un cambio positivo con respecto a los contenidos estudiados y al tipo de enseñanza. La clave del éxito en una propuesta educativa virtual radica en mantener lo cálido, amigable y cercano de un ambiente presencial, con las bondades que provee un entorno virtual que facilita el trabajo en el propio tiempo y espacio del participante.

La gestión del tiempo en un entorno virtual

La virtualidad trasciende las referencias temporales tradicionales, pues no confina la actividad educativa a un único momento o espacio. El participante puede tener acceso al curso en el momento que así lo desee y realizar sus actividades sin necesidad de coincidir en tiempo o espacio con los demás participantes, de ahí el carácter “atemporal” de la virtualidad. Es así como, dadas las particularidades de los entornos virtuales –más flexibles y tal vez menos estructurados que los contextos presenciales–, el manejo y la regulación de los recursos disponibles podría resultar sensiblemente diferente (Chiecher, Donolo y Rinaudo, 2008). Es el estudiante el que distribuye su tiempo, define cuándo ingresa a la plataforma virtual, durante cuánto tiempo permanece en línea y la cantidad de veces que participa en una actividad, de acuerdo con sus necesidades, habilidades e intereses.

Chiecher, Donolo y Rinaudo (2008) indican que no parece igual organizarse en el tiempo para asistir a clases presenciales fijadas para determinados días y horarios, que hacerlo para seguir un curso a distancia, en el cual los momentos de conexión a la red son determinados con mayor libertad por el alumno. El espacio virtual está disponible las 24 horas y se puede tener acceso a él desde cualquier lugar donde haya conexión en red. Esta flexibilidad puede brindar una falsa sensación de libertad con respecto al grado de dedicación requerida y la rigurosidad de las fechas límite de conclusión de actividades. Por eso es relevante que el tutor oriente a los participantes sobre las actividades que están pendientes y los plazos de presentación. Resulta crucial que el participante sea riguroso con el manejo de su tiempo y la dedicación a las actividades, con un adecuado seguimiento del planeamiento diseñado por el tutor. En el caso del tutor, se espera que haga gala de dos de las características deseables ya descritas en un apartado anterior: ser un individuo motivador y observador del proceso.

Reflexiones finales

El hecho de plantear y “conducir” un curso en modalidad virtual no solo requiere un ajuste en los contenidos, la evaluación o los roles de los participantes y el tutor o tutores, también demanda un pensamiento flexible y holístico por parte de las personas (estudiantes y tutores) que comparten esta modalidad de experiencia educativa.

La experiencia en la educación presencial, ciertamente, es importante, mas no es suficiente para la virtualidad. Se requiere un cambio de paradigmas y de concepciones con respecto al proceso educativo, acompañado del conocimiento técnico de cómo conducir la virtualidad.

El tutor no solo debe ser un especialista en su ámbito profesional, sino también tener formación en técnicas didácticas virtuales y el uso adecuado de la plataforma en la que su “aula virtual” se encuentre.

Es relevante comprender que existen contenidos que son más susceptibles de ser aplicados en un entorno virtual que otros; y para esto es necesario la constante búsqueda e investigación, no solo de las técnicas sino de las actitudes para abordarlos.

La virtualidad puede convertirse en una experiencia educativa altamente productiva y gratificante, tanto para el estudiante como para el tutor, si se realiza de una manera adecuada, se asume una posición proactiva y muy receptiva y se comprende que el tutor no es más que otro elemento de ese engranaje virtual y no su actor principal.

Los docentes universitarios, en especial, son los llamados a incursionar y experimentar con estas nuevas modalidades que son aplicables tanto a la educación formal superior como a espacios de extensión y educación continua. Con esta experimentación se practica la capacidad de innovación, superación y constante adaptación a las demandas del entorno educativo.

Bibliografía

- Bolívar, M. (julio, 2009). ¿Cómo fomentar el aprendizaje significativo en el aula? *Revista digital para profesionales de la enseñanza*, 03.
- Borges, F. (2005). La frustración del estudiante en línea. Causas y acciones preventivas. *Digithum*, 7(7).
- Corporación Colombia Digital. (2012). *Aprender y Educar con las Tecnologías del Siglo XXI*. Obtenido de <http://www.colombiadigital.net>
- Chiecher, A., Donolo, D. & Rinaudo, M. C. (2008). Manejo del tiempo y el ambiente en una experiencia didáctica con instancias presenciales y virtuales. *Revista de Educación a Distancia*, 20.
- Díaz, F. & Hernández, G. (2002). *Estrategias docentes para un aprendizaje significativo. Una interpretación constructivista*. México, D.F.: McGraw-Hill.
- Martínez, J. (2004). *El papel del tutor en el aprendizaje virtual*. Universitat Oberta de Catalunya. Obtenido de <http://www.uoc.edu/dt/20383/>
- Moore, M. & Kearsley, G. (2011). *Distance Education: a systems view of on line learning*. Wadsworth, Cengage Learning.
- Onrubia, J. (2005). Aprender y enseñar en entornos virtuales: actividad conjunta, ayuda pedagógica y construcción del conocimiento. RED. *Revista de Educación a Distancia*, número monográfico II, 16.
- Organización de Estados Americanos (OEA). (2010). *Portal Educativo de las Américas. Curso de Formación en Tutoría Virtual Bloque II*. 42 ed. Obtenido de <http://www.educoas.org/>
- Requena, S. (2008). El modelo constructivista con las nuevas tecnologías, aplicado en el proceso de aprendizaje. *Revista de Universidad y Sociedad del Conocimiento, RUSC*, 5(2), 6.
- Rodríguez, M. (2011). La teoría del aprendizaje significativo: una revisión aplicable a la escuela actual. *Revista Electrónica d'Investigació i Innovació Educativa i Socioeducativa*, 3(1), 29-50. Obtenido de http://www.in.uib.cat/pags/volumenes/vol3_num1/rodriguez/index.html
- Santoveña, S. (2005). *Criterios de Calidad para la Evaluación de los Cursos Virtuales*. Unidad de Virtualización Académica, Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED), Granada. España. Año II, No. 4. Obtenido de <http://tecnologiaedu.us.es/cuestionario/bibliovir/calidad.pdf>
- Torres, L., Prieto, E. & López, L. (2012). Entornos virtuales de enseñanza-aprendizaje. Evaluación del uso de las herramientas virtuales en el máster de educación para el desarrollo. *Revista Electrónica de Tecnología Educativa*, 39. Obtenido de http://edutec.rediris.es/Revelec2/Revelec39/pdf/Edutec-e_39_Torres_Prieto_Lopez.pdf
- Zúñiga, C. & Arnáez, E. (2010). Comunidades virtuales de aprendizaje, espacios dinámicos para enfrentar el Siglo XXI. *Tecnología en Marcha*, 23(1), 19-28.