



LA UNIVERSIDAD QUE SIEMBRA

REVISTA DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

ISSN: 1690-8066

Volumen 4 / Enero-Diciembre 2007



AGROLLANIA

UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL DE LOS LLANOS OCCIDENTALES  
EZEQUIEL ZAMORA

Vicerrectorado de Infraestructura y Procesos Industriales

SAN CARLOS-COJEDES-VENEZUELA

**DETERMINACIÓN DE ISOTERMAS DE SORCIÓN DE HUMEDAD EN  
HARINA PRECOCIDA DE PLÁTANO VERDE**

*(Musa paradisiaca L.)*

**DETERMINATION OF GREEN/UNRIPE PLANTAIN PRE-COOKED FLOUR  
HUMIDITY SORTION ISOYHERMS**

*(Musa paradisiaca L.)*

*Miguel Ángel Torrealba Piña*

MSc.(UNEXPO, UNELLEZ). Laboratorio de Microbiología.

Programa Ciencias del Agro y del Mar.

Vicerrectorado de Infraestructura y Procesos Industriales.

km 4 Carretera Via Manrique, San Carlos, Cojedes, Venezuela 2201.

Email: [torrealbap38@hotmail.com](mailto:torrealbap38@hotmail.com)

Recibido: 12-01-2007 / Aceptado: 30-03-2007

**RESUMEN**

El objetivo de la presente investigación es determinar las isotermas de sorción de humedad de la harina precocida de plátano verde, evaluando el comportamiento a cuatro temperaturas diferentes (20, 25, 30 y 35 °C), en un rango de  $a_w$  de 0,202 a 0,835. Los datos experimentales de actividad de agua y contenido de humedad, se ajustaron a las ecuaciones propuestas por Ratti *et al.* (1989); Chung y Pfof (1967); GAB (Guggenheim *et al.*, 1984) y la ecuación BET (Brunauer *et al.*, 1938); utilizando análisis de regresión no lineal y el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) del programa Statistic V-6. De los modelos evaluados fueron Ratti *et al.* (1989) y Chung y Pfof (1967) los que ajustaron mejor las isotermas de sorción; el primero presentó un coeficiente de determinación de 0,991 y 0,996, para todas las temperaturas analizadas y el segundo un coeficiente entre 0,9735 y 0,9876. Se determinó el valor de la monocapa con las ecuaciones de BET (Brunauer-Emmett-Teller, 1938) y GAB (Guggenheim-Anderson-de Boer, 1984), con mejores resultados con el modelo de BET, cuyos valores se ubicaron entre 0,0243 y 0,0033 g de H<sub>2</sub>O/g de sólido. Finalmente se evaluó el calor isostérico de sorción requerido por la harina precocida de plátano verde para alcanzar el equilibrio sorcional, mediante la ecuación de Clausius-Clapeyron en su forma integrada (Soekarto y Steinberg, 1981), concluyéndose que este calor varía con la temperatura y el contenido de humedad.

**Palabras claves:** *Actividad de agua, isotermas de sorcion, harina de platano.*

### SUMMARY

The objective of the present research is to determine the sorption isotherms of green/unripe plantain pre-cooked flour, and evaluating its behavior at four different temperatures (20, 25, 30 and 35 degrees Centigrades), in a  $A_w$  range between 0.202 and 0.835. The  $A_w$  experimental data and humidity content adjusted well to the equations proposed by Ratti *et al.* (1989), Chung and Pfoest (1967), GAB (Guggenheim *et al.* 1984), and the BET equation (Brunauer *et al.*, 1938); utilizing Non-Linear Regression Analysis and the Determination Coefficient ( $R^2$ ) of the Statistics V-6 Program. Out of the evaluated models were Ratti *et al.* (1989) and Chung and Pfoest (1967) the ones that adjusted better the sorption isotherms; the former showed a determination coefficient of 0.991 and 0.996, for all the analyzed temperatures, and the latter showed a coefficient of 0.9735 and 0.9876. The value of the monolayer was determined using the BET equation (Brunauer-Emmett-Teller, 1938) and GAB (Guggenheim-Anderson-de Boer, 1984) thus obtaining better results with the BET method, whose values were 0.0243 and 0.0033 g H<sub>2</sub>O/g solids. Finally, the green/unripe plantain flour Isothermic Sorption Heat was evaluated in order to reach the sorptional equilibrium, by means of the Clausius-Clapeyron equation in its integrated form (Soekarto and Steinberg, 1981), thus concluding that this value varies with temperature and humidity content.

**Keywords:** *Water activity, sorption isotherms, plantain flour.*

## INTRODUCCION

La actividad de agua ( $a_w$ ) de un producto representa uno de los factores primordiales en la conservación de alimentos, por permitir reducir la posibilidad de que se lleven a cabo diferentes tipos de reacciones bioquímicas y el crecimiento de microorganismos que produzcan alteraciones en el mismo o que sean patógenos (Sandoval *et al.*, 2002), es por ello la presente investigación está orientada a determinar las isotermas de sorción de humedad de la harina de plátano verde, para así disponer de un modelo de predicción que permitirá inferir sobre tiempos de secado, estabilidad o vida de almacenamiento, selección de materiales de empaques, definición de condiciones de almacenamientos, y otros factores que involucran su conservación (Fuentes, 1996).

El objetivo general de la presente investigación es determinar las isotermas de sorción de humedad de la harina precocida de plátano verde, evaluando el comportamiento a cuatro temperaturas diferentes (20, 25, 30 y 35 °C), en un rango de  $a_w$  de 0,202 a 0,835. Como objetivos específicos se tienen: a) Ajustar los datos de sorción de humedad de la harina de plátano verde, con los modelos de Ratti *et al.*, (1989); Chung y Pfof (1967); GAB (Guggenheim *et al.*, 1984) y BET (Brunauer *et al.*, 1938), para la predicción de la  $a_w$  del producto. b) Determinar la humedad la humedad crítica de almacenamiento (valor de la monocapa) mediante la ecuación de GAB (Guggenheim *et al.*, 1984) y BET (Brunauer *et al.*, 1938). c) En caso de no ajustar los datos de sorción de humedad con las ecuaciones de Ratti *et al.* (1989); Chung y Pfof (1967); GAB (Guggenheim *et al.*, 1984) y BET (Brunauer *et al.*, 1938), desarrollar un modelo matemático que prediga la actividad de agua. d) Evaluar la influencia de la temperatura sobre la actividad de agua en la harina de plátano verde, y determinar el calor isostérico de sorción con la relación de Clausius Clapeyron integrada (Soekarto y Steinberg, 1981).

## MATERIALES Y MÉTODOS:

### **Materia Prima.**

Para esta investigación se utilizó harina precocida a partir de plátano verde adquirido en el comercio local. Procesada en el laboratorio de Ingeniería y Tecnología de Alimentos de la Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales (UNELLEZ), núcleo San Carlos, Estado Cojedes, Venezuela, bajo la metodología propuesta por Murillo (2003). El plátano verde

fue pelado manualmente y luego se sumergió en solución de ácido cítrico 1% por un minuto, a fin de evitar oxidación, luego se procedió a cubiletearlo en "tajadas" de más o menos 1 a 2 milímetros de espesor para posteriormente secarlo en bandejas, con un tratamiento térmico de 40 °C por 48 horas. Se procedió a reducir de tamaño del material seco en un molino de martillo, marca RETSDIETZ, modelo SK1 y malla  $\frac{3}{4}$  mm. La harina se colocó en un recipiente plástico grande y sellado herméticamente, para evitar variaciones de la humedad.

### **Análisis Físico-químico.**

A la harina se le hizo análisis proximal de acuerdo con los procedimientos establecidos en las normas de la Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN) y de la Asociación Oficial of Analysis Chemistry (AOAC). La humedad de la harina se determinó bajo el método de pérdida de peso en estufa a  $100 \pm 5$  °C por 1 hora (A.O.A.C, 1980, No 7003), con el uso de una estufa de vacío. Para determinar proteína cruda se siguió el método Macro Kjeldahl (COVENIN, 1195-80), con el uso del equipo marca LABCONCO. Se cuantificó grasa cruda mediante el método de Soxhlet, realizado por extracción con éter de petróleo, en un equipo marca LABCONCO modelo 35001, de acuerdo con el procedimiento de la A.O.A.C (1980, N° 7.056), utilizando el factor 6.25 para transformar en proteína. Con respecto a las cenizas, se aplicó el procedimiento de la Norma COVENIN 1115-79; A.O.A.C (1980, No 18.025), mediante pérdida de peso de la materia fresca, después de la incineración a 550°C, en una mufla; y para la fibra cruda se aplicó el procedimiento establecido en la Norma COVENIN 1194-79; mientras que el porcentaje total de carbohidratos se obtuvo por diferencia (Fuentes, 1996; Landaeta, 2005).

### **Determinación de Isotermas de Sorción**

La isoterma de sorción se define como la relación entre la actividad de agua (o la humedad relativa del aire circundante) y el contenido de humedad de un material en equilibrio a temperatura constante, la cual se obtiene cuando el proceso de equilibrio parte de una muestra húmeda, y a esta se le permite equilibrarse con la humedad del aire circundante perdiendo humedad, reflejando así la forma como el agua se liga al sistema (Fuentes, 1996). Su importancia para la ciencia de los alimentos se basa en la capacidad para predecir potenciales cambios en la estabilidad de los productos, a la vez de ser útiles para seleccionar empaques e ingredientes por predecir la humedad máxima a permitir durante el almacenamiento (Madigan *et al.*, 2004).

Las isotermas de sorción de la harina de plátano se determinaron evaluando el comportamiento del equilibrio de humedad a cuatro temperaturas diferentes (20, 25, 30 y 35 °C), abarcando un rango de  $a_w$  de 0,202 a 0,835 (Landaeta, 2005). Este método consiste en:

- a. Mediante el uso de recipientes de plástico, con capacidad de 250 cc, se logran ambientes de humedad controlada, en los que se obtienen, a partir de diversas soluciones salinas saturadas, microatmósferas de humedad relativa fija a las temperaturas de estudio. Las sales que se usaron para preparar las soluciones fueron las siguientes: Acetato de Potasio

- ( $\text{KC}_2\text{H}_3\text{O}_2$ ;  $a_w = 0,200$ ), Cloruro de Magnesio ( $\text{MgCl}_2$ ;  $a_w = 0,327$ ), Carbonato de Potasio ( $\text{K}_2\text{CO}_3$ ;  $a_w = 0,431$ ), Nitrato de Magnesio ( $\text{MgNO}_3$ ;  $a_w = 0,528$ ), Cloruro de Cobalto ( $\text{CoCl}_2$ ;  $a_w = 0,649$ ), Cloruro de sodio ( $\text{NaCl}$ ;  $a_w = 0,752$ ), Cloruro de potasio ( $\text{KCl}$ ;  $a_w = 0,843$ ).
- Se pesaron 2 gramos de muestra en pequeños recipientes plásticos y luego se introdujeron en las microatmósferas. Finalmente se tapó herméticamente el recipiente de plástico, para así garantizar el intercambio osmótico entre la muestra de harina y la solución saturada.
  - Las mediciones se efectuaron por triplicado, (21 mediciones), que se lograron colocando los envases sellados en estufa a 20, 25, 30 y 35 °C durante 5 días; suficientes para alcanzar las condiciones de equilibrio. Se desmontó el microambiente y se pesó la muestra; el resultado se expresó como gramos de agua por gramos de materia seca. Inmediatamente se determinó actividad de agua utilizando el equipo DECAGON y se construyeron las isotermas con los datos de  $a_w$  obtenidos.

### Ajuste de Datos de Sorción de Humedad

Para establecer el ajuste de los datos experimentales, se obtuvo el coeficiente de determinación ( $R^2$ ), de los modelos propuestos por Ratti *et al.* (1989); Chung y Pfost (1967); GAB (Guggenheim *et al.*, 1984) y la ecuación BET (Brunauer *et al.*, 1938), además de los parámetros o coeficientes de cada ecuación.

#### Modelo de Ratti *et al.*, (1989):

Es una ecuación que permite predecir  $a_w$  en diversos alimentos frescos, cuya relación de humedad incluye la dependencia con la temperatura (Fuentes, 1996). El modelo es el siguiente:

$$\ln(a_w) = C_1 \exp(-C_2 X) X^{C_3} + Q_1 \exp(-Q_2 X) X^{Q_3} \ln p \quad (1)$$

donde:

$a_w$  - , es la actividad de agua.

$X$  - , es la humedad en base seca.

$p$  - , es la presión de vapor a la temperatura considerada.

$C_1 - C_2, C_3, Q_1, Q_2, Q_3$  , son constantes para cada producto.

#### Modelo de Chung y Pfost (1967):

Ecuación general para cereales y sus productos. Se expresa de la siguiente manera:

$$m = a + b \ln(-\ln a_w) \quad (2)$$

donde:

$m$  - , es la humedad expresada en base seca.

$a_w$  - , es la actividad de agua.

$a$  -  $b$  y , son pendientes e intercepto.

#### Modelo de Guggenheim Anderson de Boer (GAB, 1984):

Es una extensión de la ecuación de BET (1938), teniendo en cuenta las propiedades modificadas del agua adsorbida en la región multicapas (Kapsalis, 1987), siendo el modelo que mejor ajusta los datos de isotermas de adsorción para la mayoría de los alimentos y muy utilizado para predecir datos de niveles de actividad de agua de aproximadamente 0,9.

$$\frac{Xe}{Xm} = \frac{CKa_w}{(1 - Ka_w)(1 - Ka_w + CKa_w)} \quad (3)$$

$$C = c \exp\left(\frac{Hm - Hn}{RT}\right) \quad (4) \quad , \quad K = k \exp\left(\frac{Hp - Hn}{RT}\right) \quad (5)$$

donde:

$CK$  - , son fracciones de arreglo entrópico.

$Hm$  - , es la entalpía molar de adsorción de la monocapa.

$Hn$  - , es la entalpía de adsorción de la multicapa

$Hp$  - , es la entalpía molar de la evaporación de agua líquida.

$Xe$  - , es el contenido de humedad (gH<sub>2</sub>O/ g de sólido).

$Xm$  - , es el contenido de humedad de la monocapa (gH<sub>2</sub>O/ g de sólido).

$C$  -  $K$  y, son constantes características de cada alimento.

#### Modelo de BET (Brunauer, Emmett y Teller; 1938):

Modelo desarrollado bajo la consideración de que cada molécula adsorbida en la primera capa es un sitio para la desorción de una molécula en la segunda capa.

$$\frac{a_w}{V(1 - a_w)} = \frac{1}{CV_m} + \frac{(C - 1)}{CV_m} a_w \quad (6)$$

donde:

$V$  - , es el volumen de agua adsorbida en el alimento.

$V_m$  - , es el volumen de la cantidad de agua adsorbida en la monocapa.

$C$  - , es la constante del alimento.

### Valor de la Monocapa.

Para determinar el valor de la monocapa se utilizaron los modelos propuestos por Brunauer-Emmett-Teller (BET, 1938) y GAB (1984). Se graficó  $a_w/m(1-a_w)$  en el eje de ordenadas y  $a_w$  en el eje de abscisas, se obtuvo una recta cuya intersección con el eje de ordenada es  $1/m_1C$ , y pendiente igual a  $(C-1)/m_1C$ . Con la ayuda de esta ecuación se pudo determinar  $m_1$  (valor de la monocapa) y la constante  $C$ . Para aplicar el modelo de GAB (1984), se escribió la misma como un polinomio de segundo grado, lo que permitió estimar los factores  $a$ ,  $b$  y  $g$  aplicando regresión no lineal, y posteriormente determinar  $m_1$  (valor de la monocapa) y los parámetros  $C$  y  $K$  mediante las relaciones (Barbosa *et al.*, 2000):

$$a_w/m = \alpha(a_w)^2 + \beta a_w + \gamma \quad (7)$$

$$m_1 = \sqrt{-\frac{1}{4\alpha\gamma - \beta^2}} \quad (8)$$

$$K = \frac{1}{m_1 C \gamma} \quad (9)$$

### Calor de sorción de humedad.

La energía de sorción, expresada como calor de sorción ( $Q_s$ ), es la cantidad total de calor por unidad de peso del adsorbente para una cantidad de moles absorbidos en el sistema (Vega Mercado *et al.*, 1994); expresándose también como la diferencia entre el calor isostérico de sorción ( $Q_{st}$ ) y el calor de condensación del vapor de agua ( $\Delta H_B$ ) (Balaban *et al.*, 1987). Es un factor que involucra al contenido de humedad del producto y su temperatura de operación. Cuando se aumenta la temperatura la mayor sorción de las moléculas toman la energía necesaria para hacer el cambio de líquido a vapor, y en consecuencia se precisa mayor presión para establecer un equilibrio entre el vapor y el líquido (Universidad de La Habana, 2002). Esta variación de la presión de vapor se expresa matemáticamente con la ecuación de Clausius-Clapeyron integrada (Soekarto y Steinberg, 1981), la cual expresa que para la transición de líquidos a vapor  $P$  es la presión a la temperatura  $T$ ,  $\Delta H = \Delta H_v$  el calor de vaporización de un peso dado de líquido, y  $V_1 = V_l$  el volumen del líquido, mientras que  $V_2 = V_g$  es el volumen del mismo pero de vapor.

$$\frac{dP}{dT} = \frac{\Delta H_v}{T (V_g - V_l)} \quad (10)$$

Si el vapor se comporta esencialmente como un gas ideal, entonces  $V_g = RT/P$  y la ecuación anterior se transforma en:

$$\frac{d \ln P}{dT} = \frac{\Delta H_v}{(RT)^2} \quad (11)$$

Soekarto y Steinberg (1981), integraron la ecuación de Clausius-Clapeyron, con la cual se puede determinar el calor isostérico neto o energía de enlace de sorción, quedando de la

$$\frac{d(\ln P)}{d(1/T)} = - \frac{Q_{st}}{R} \quad (12)$$

donde:

- P, es la presión, T la temperatura y Q<sub>st</sub> el calor isostérico de sorción.

La energía de sorción permite estudiar el estado del agua en la superficie de un alimento, involucrando parámetros como entalpía y entropía de sorción, igualmente, se puede expresar como calor de sorción total (Q<sub>st</sub>) y calor de sorción neto (Q<sub>sn</sub>), donde el primero es la cantidad de calor por unidad de peso del adsorbente para un número específico de moles de adsorbente en el sistema y el segundo representa el límite de calor total para un adsorbente de moles conocidos (Aguerre et al, 1986).

### **Análisis Estadístico.**

A los datos experimentales de actividad de agua y humedad que se obtuvieron a través de un esquema de tratamiento de tres factores: soluciones saturadas ( $a_w$  teóricos ) a 7 niveles; temperatura a 4 niveles y harina precocida a 1 nivel; arreglados como un experimento factorial en un diseño completamente aleatorizado, se les aplicó un análisis de supuestos del ANOVA (Análisis of Variance), utilizando el procedimiento univariado del SAS (Statistical Analysis System); y para las respuestas generadas por el modelo factorial, se utilizó el procedimiento ANOVA para las pruebas de significancia F de tratamientos, definiéndose las variables  $Y_1$  = actividad de agua y  $Y_2$  = humedad. Para verificar cuales tratamientos fueron significativos, se utilizó la prueba de comparación de medias LSD (Least Significant Difference) del SAS.

### **Resultados y Discusión.**

#### **Análisis de la Materia Prima.**

La harina precocida de plátano verde muestra un contenido de humedad que puede considerarse dentro del rango de alimentos deshidratados, tal como lo muestra el cuadro 1.

#### **Análisis estadístico de los datos experimentales.**

De acuerdo a este cuadro, el modelo factorial aplicado para obtener los datos experimentales de humedad y actividad de agua de la harina precocida de plátano verde, muestra un alto nivel de significancia para las variables estudiadas, con un coeficiente de variación inferior a 10 y una correlación superior a 0,90; lo que implica que no existen restricciones para el ajuste de los datos experimentales a las ecuaciones de isoterms de sorción previstas.

**Cuadro 1: Composición proximal de la harina de plátano verde (en 100 g)**

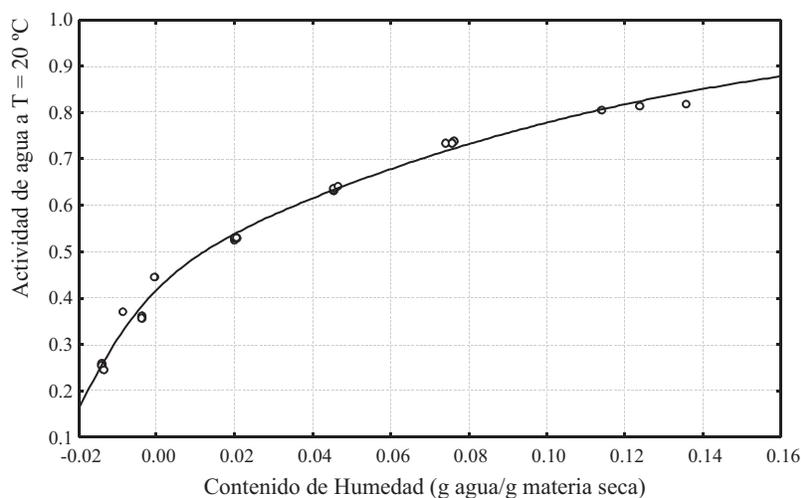
<i>Componente</i>	<i>Valor</i>
Calorías	83,3 por cada 100 g.
Humedad (%)	6,9
Carbohidratos (%)	83,2
Proteína (%)	3,6
Lípidos (%)	0,18
Fibra (g)	9,01 por cada 100 g.
Cenizas (%)	2,3
Magnesio (mg)	36,4 por cada 100 g.
Potasio (mg)	350 por cada 100 g.
Provitamina A (mcg)	18 por cada 100 g.
Vitamina C (mg)	11,5 por cada 100 g.
Ácido fólico (mcg)	20 por cada 100 g.

Fuente: Maldonado et al. (2004)

### Ajuste de Datos de Sorción de Humedad de la Harina.

#### a. Ecuación de Ratti et al (1989):

La evaluación de los datos experimentales de sorción de humedad de la harina de plátano verde, arrojó un ajuste adecuado con esta ecuación, presentando una correlación superior a 0,99 para cada una de las temperaturas experimentadas (20, 25, 30 y 35 °C).



Fuente: Determinaciones propias. Datos Anexo 1. Programa Statistica Versión 6,0

**Figura 1.** Isotermas de sorción de humedad de harina precocida de plátano verde ajustada a la ecuación de Ratti et al (1989), a la temperatura de 20 °C.

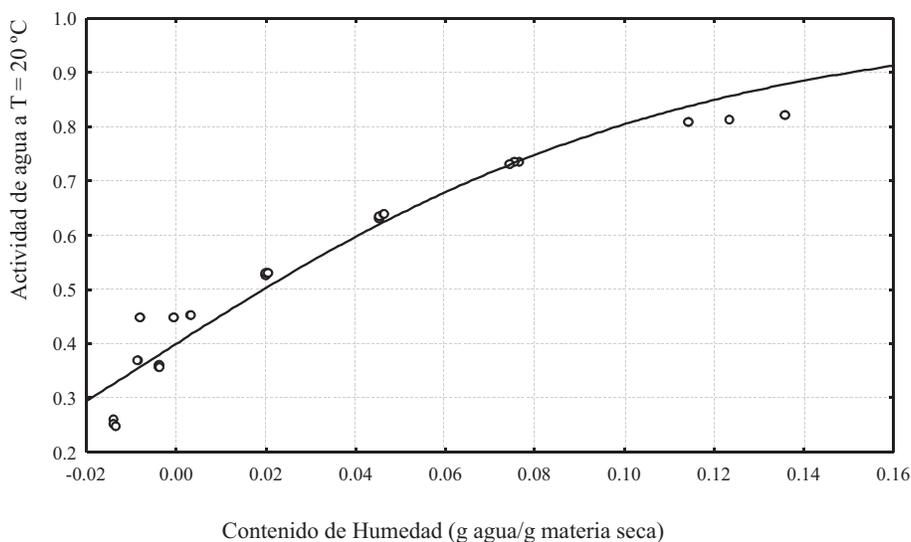
**Cuadro 2: Análisis de Varianza para las variables A y B**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>G.L.</i>	<i>Cuadrado medio</i>	<i>F-radio</i>	<i>F-valor</i>
EFECTOS:					
A: Humedad	2,83586	79	0,035897	143588,10	0,0021
B: Temperatura	0,00000225	3	0,0000007	3,00	0,3901
RESIDUAL:	0,0000007	1	0,0000007		
Coefficiente de variación:	A = 0,91 y B = 0,00045				
Correlación (R <sup>2</sup> ):	A = 0,985 y B = 0,982				

*Fuente: Determinaciones con software estadístico Statgraphics Plus. Versión 5.1 (2001)*

### b. Ecuación de Chung y Pfof (1967):

Los datos de sorción de humedad del producto estudiado se ajustaron satisfactoriamente a esta ecuación, a las temperaturas experimentadas (20, 25, 30 y 35 °C), con coeficientes de correlación entre 0,9735 y 0,9876, con un mejor ajuste a 25 °C ( $R^2 = 0,9876$ ).

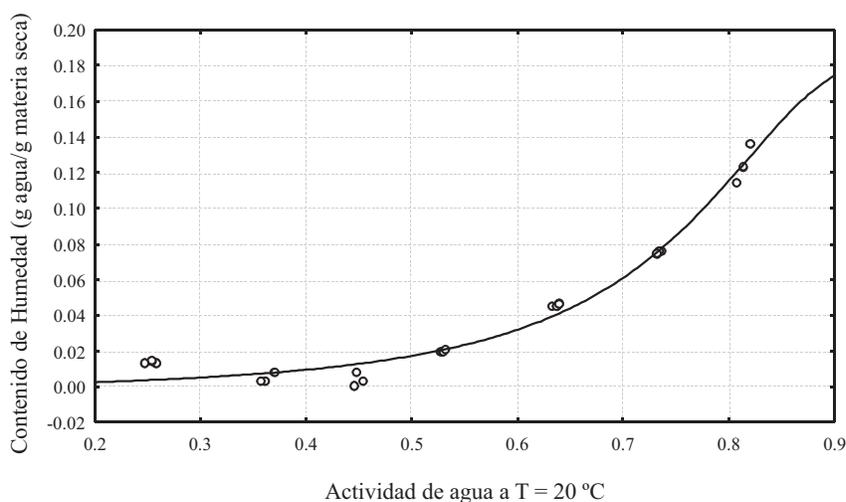


*Fuente: Determinaciones propias. Datos Anexo 1. Programa Statistica Versión 6,0*

**Figura 2.** Isotermas de sorción de humedad de harina precocida de plátano verde ajustada a la ecuación de Chung y Pfof (1967), a la temperatura de 20 °C.

### c. Ecuación de Guggenheim Anderson de Boer (GAB, 1984):

Este modelo es una extensión de la ecuación de BET (1938), ajustando satisfactoriamente a los datos de sorción de humedad de esta harina, debido a que muestra coeficientes de correlación entre 0,9587 y 0,9728 para las temperaturas estudiadas; con un mayor ajuste a la temperatura de 25 °C. Muchos investigadores han evaluado datos de sorción de humedad con esta ecuación, llegando a la conclusión de que ajusta bien a diferentes temperaturas, tanto en productos de deshidratados como los de humedad intermedia.



Fuente: Determinaciones propias. Datos Anexo 1. Programa Statistica Versión 6,0

**Figura 3.** Isotermas de sorción de humedad de harina precocida de plátano verde ajustada a la ecuación de GAB, 1984), a la temperatura de 20 °C.

### d. Ecuación de Brunauer Emmett - Teller (1938):

Con este modelo, los datos de sorción de humedad de la harina precocida de plátano verde no se ajustan satisfactoriamente, debido a que los coeficientes de relación lineal ( $R^2$ ) son muy bajos, con valores entre 0,173 y 0,401 para las temperaturas experimentadas; además, los valores de la monocapa ( $m_1$ ), definida por Wolf *et al* (1972) como la cantidad de agua disponible, capaz de interactuar con todos los sitios de adsorción disponibles en un material seco, resultaron muy bajos con valores entre 0,0033 y 0,0243, lo que especifica que hay una dispersión significativa de los datos con el modelo.

#### Valor de la monocapa.

El valor de la monocapa se ve afectada por la influencia de la temperatura, donde a bajas temperaturas hay mayor disponibilidad de agua que pueda interactuar con todos los sitios de adsorción de la sorción seca del alimento y que influye en la velocidad de las reacciones químicas del mismo. Es un valor inferior a la actividad de agua del alimento, por lo que esta harina precocida es un producto deshidratado, cuya tasa de deterioro es baja.

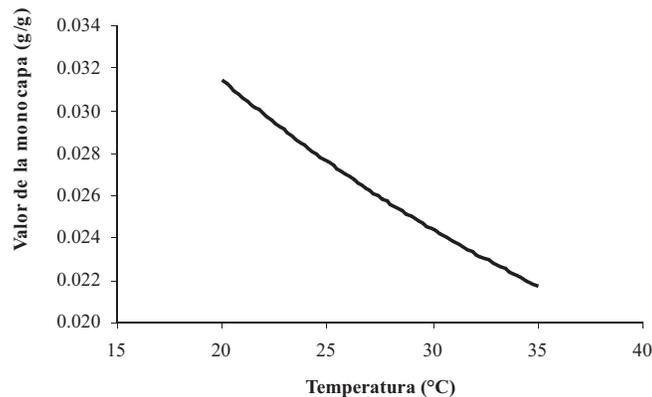
**Cuadro 3:** Parámetros de la ecuación de BET (1938) para las isotermas de sorción de humedad de la harina precocida de plátano verde a diferentes temperaturas.

<i>Temperatura</i> (°C)	<i>Pendiente</i> ( <i>m</i> )	<i>Intercepto</i> ( <i>b</i> )	<i>C</i>	<i>m<sub>1</sub></i> (g/g)	R <sup>2</sup>
20	36,1	50,1	8,21	0,0243	0,173
25	19,9	50,3	1,39	0,0143	0,201
30	38,5	57,1	1,67	0,0104	0,401
35	71,54	22,4	4,21	0,0033	0,368

Fuente: Determinaciones propias, Programa Statistica Versión 6,0

### Calor de sorción.

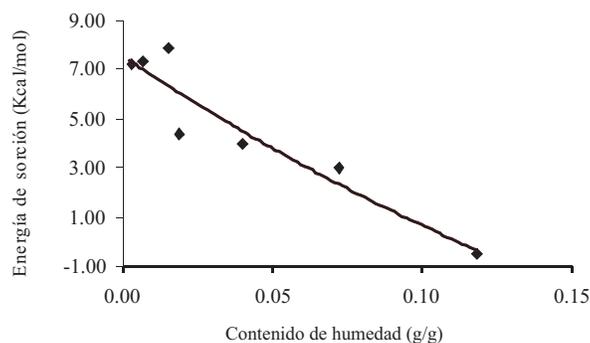
La energía de sorción varía con la temperatura y el contenido de humedad, donde los valores más altos de HB se corresponden con los contenidos de humedad y temperaturas bajas, lo que indica que el efecto de la temperatura hace que varíe la actividad de agua y la energía de enlace de las moléculas de agua.



Fuente: Determinaciones propias, datos Cuadro 16. Microsoft Excel 2003.

**Figura 4.** Variaciones de la monocapa de los datos de sorción de humedad de la harina precocida de plátano verde con respecto a la temperatura ajustada a la ecuación de GAB (1984).

Este calor se mantiene constante hasta que queda cubierta la monocapa, por lo que decrece repentinamente (Labuza *et al*, 1985); es decir, que para bajos contenidos de humedad este calor es mayor y que disminuye gradualmente a medida que se incrementa la temperatura, indicando el cambio gradual de la monocapa; siendo la condensación capilar la razón principal del aumento del contenido de agua a valores altos de actividad de agua. Por otro lado, todos los cambios ocurridos en la harina precocida de yuca por efecto de la temperatura, y que tienen influencia sobre la energía de sorción, ocurren durante el tiempo necesario para alcanzar el equilibrio sorcional (Fuentes, 1996; Landaeta, 2005).



Fuente: Determinaciones propias, Microsoft Excel 2003

**Figura 5.** Variación de la energía de sorción de humedad de la harina precocida de plátano verde a temperatura promedio de 22,5 °C.

### Conclusiones y recomendaciones:

De acuerdo a la evaluación de los datos experimentales de sorción de humedad de la harina precocida de plátano verde con los diferentes modelos propuestos para la predicción de humedad, tales como: Ratti *et al* (1989); Chung y Pfof (1967); GAB (1984) y BET (1938), los que arrojaron mejores ajustes fueron los dos primeros mencionados, con coeficientes de determinación superiores a 0,99; lo que indica que ambos modelos matemáticos proporcionan una gran utilidad en la determinación de isotermas de sorción de productos deshidratados con rangos de humedad comprendidos entre 0,2 y 0,9 g de H<sub>2</sub>O/g de sólido. Por otro lado, es recomendable que toda empresa manufacturera de alimentos, conozca las isotermas de sorción de humedad de cada uno de sus productos y de las materias primas utilizadas, para así reducir principalmente pérdidas de almacenamiento, tanto de insumos deshidratados como de productos finales de baja humedad.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguerre, R.; Suárez, C. y Viollaz, P. E. (1986). "Enthalpy entropy compensation in sorption phenomena: Application to the prediction of the effect of temperature on foods isotherms". *J. Food Sci.* 51 (6): 1547-1549.
- A. O. A. C. (1980). "Official Methods of Analysis". Association of Official Analytical Chemists. 16<sup>th</sup> ed. Arlington Va. U.S.A.
- Balaban, M.O.; Zuritz, C.A.; Singh, R.P. y Hayacana, K. (1987). "Estimation of heat of moisture sorption and improved criteria for evaluating moisture sorption equation for foods". *J. Food Eng.* 10 (1): 53-70.
- Barbosa, G. V. y Vega H. (2000). "Deshidratación de alimentos". Editorial Acribia, S.A. Zaragoza. España.
- Brunauer, S.; Emmett, P.H. y Teller, E. (1938). "Adsorption of gases in multimolecular layers". *J. Am. Chem. Soc.* 60 (1): 309-319.

- COVENIN (1979). Norma Venezolana de Alimentos. "Alimentos para Animales. Determinación de Cenizas", Método N° 1115-79. Comisión Venezolana de Normas Industriales. Caracas Venezuela.
- COVENIN (1979). Norma Venezolana de Alimentos "Determinación de fibra cruda". Método 1194-79. Comisión Venezolana de Normas Industriales. Caracas Venezuela
- COVENIN (1980). Norma Venezolana de Alimentos. "Determinación de nitrógeno". Método Kjeldahl N° 1195-80. Comisión Venezolana de Normas Industriales. Caracas Venezuela.
- Chung, D.S. y Pfof, H.B. (1967). "Adsorption y desorption of water vapor by cereal grain and their products". Part II. Development of the general isotherm equation. *Trans. ASAE*. 10 (3): 552-555.
- Fuentes, A. (1996). "Predicción de la actividad de agua en harinas precocidas de quinchoncho (*Cajanus cajan L. Millsp*) y habas (*Canavalia ensiformis*) y sus mezclas". Trabajo de grado maestría. UDO. Venezuela.
- Guggenheim, H.; De Boer, J.H. y Anderson, R. (1984). "Description of water activity of food for engineering purposes by mean of the G.A.B. model of sorption". In Van den Berg, C. 1980. *Engineering and foods. Elsevier Applied Science*. London. 1:311-314.
- Kapsalis, J. G. (1987). "Influences of hysteresis and temperature on moisture sorption isotherms". In *Water Activity: Theory and Applications in Food*. L.A. Rockland and L. R. Beuchat (Ed.), p. 173-213. Marcel Dekker Inc. New York, USA.
- Labuza, T. P.; Kaanane, A y J, Chen (1985). "Effect of temperature on the moisture sorption isotherms and water activity on two dehydrated foods". *J. Food Sci.* 50(2): 385-391.
- Landaeta, J. (2005). "Características de sorción de humedad de la harina precocida de batata (*Ipomoea batata spp*)". Trabajo de Grado Maestría. UNELLEZ. Venezuela.
- Madigan, M.; Martinko, J. y J, Parker. (2004). "Biología de los Microorganismos". 10<sup>ma</sup> edición. Pearson Educación, S.A. Madrid España.
- Maldonado, R. y Pacheco, E. (2004). "Elaboración de galletas con una mezcla de harina de trigo y de plátano verde". Trabajo de Investigación. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía Maracay Venezuela.
- Murillo, O. (2003). "Posibilidades de industrialización del plátano". CITA-UCR. Dirección de Mercadeo y Agroindustria. San José, Costa Rica.
- Ratti, C.; Crapiste, G. H. y Rotstein, E. (1989). "A new water sorption equilibrium expression for solid foods based on thermodynamic considerations". *J. Food Sci.* 54(3): 738-747.
- Sandoval, A; Barreiro, J.; Tovar, X. y Angueira, M. (2002). "Características de sorción del cacao fermentado en polvo (*Theobroma cacao*)". *Rev. Téc. Ing. Universidad del Zulia*. 25(1): 1-7.
- Soekarto, S. T. y Steinberg, M. P. (1981). "Determination of binding energy for the three fractions of bound water". In *Water Activity: Influences on Food Quality*. L. B. Rockland and G. F. Stewart, p 265. Academic Press. N. Y.
- Universidad de La Habana (2002). Calor de adsorción y cambios de energía [Página web] Disponible: <http://www.uh.cu.com> (Consulta: 2005, Octubre 26).
- Vega-Mercado, H y Barbosa-Cánovas, G. (1994). "Prediction of water activity in foods systems: A review of theoretical models". *Rev. Esp. Cienc. Tecnol. Aliment.*
- Wolf, M.; Walter, J. E y Kapsalis, J. G (1972). "Water vapor sorption hysteresis in dehydrated food. *J. Agr. Food Chem.* 20(5): 1073.

**EVALUACIÓN DE LA RESPUESTA DE LA COMBINACION DE CARNE DE  
CHIVO, POLLO Y CERDO EN JAMÓN COCIDO\***

**RESPONSE EVALUATION OF THE COMBINATION OF GOT, CHICKEN AND  
PORK MEAT IN COOKED HAM**

\*Tesis de Maestría del Área de Postgrado, UNELLEZ-San Carlos

*Jhonny Ali Palmero<sup>1</sup>, Miguel Angel Garcia<sup>2</sup>, Enrique Coromoto Avila<sup>2</sup>,  
Madeleine Deusdesdidh Suárez<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>MSc. (UNELLEZ). Programa de Ingeniería Agroindustrial. Decanato de agronomía.  
Universidad Centro occidental Lisandro Alvarado. Apartado 3001.  
Barquisimeto, Edo. Lara, Venezuela. E-mail: *jhonnypalmero@yahoo.es*

<sup>2</sup>MSc. (UNELLEZ). Tutor Académico. Postgrado de Ingeniería Agroindustrial.  
Vicerrectorado de Infraestructura y Procesos Industriales.  
UNELLEZ-San carlos, Estado Cojedes, Venezuela 2201

<sup>2</sup>Ing. Agroindustrial (UNELLEZ). Laboratorio de Fisiología Postcosecha. Programa  
Ciencias del Agro y del Mar. Vicerrectorado de Infraestructura y Procesos Industriales.  
UNELLEZ-San Carlos, Estado Cojedes, Venezuela.

Recibido: 10-12-2005 / Aceptado: 07-05-2006

## RESUMEN

La respuesta de la combinación de carne de chivo( $X_1$ ), cerdo( $X_2$ ) y pollo( $X_3$ ) se evaluó utilizando la tecnología de fabricación de jamón cocido. Las respuestas medidas fueron color *a*, textura y rendimiento. El diseño del experimento fue de tratamientos de mezclas "LATTICE SIMPLEX" para tres factores experimentales ( $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$ ) con cuatro niveles cada uno, para 15 unidades experimentales (tratamientos distintos) completamente repetidos. Las respuestas medidas en función de los factores experimentales, se modelaron utilizando el modelo cúbico especial de SHEFFE con la finalidad de predecir valores en cada una de las respuestas con características muy parecidas al jamón cocido comercial. Las mezclas que permitieron satisfacer estos requerimientos para el color "a" fue: 36,43% de chivo, 16,59% de cerdo y 47 % de pollo; Para la textura 66,72 % de chivo, 28,21% de cerdo y 5,07% de pollo y para el rendimiento 50% de chivo y 50% de cerdo.

*Palabras clave:* Chivo, cerdo, pollo, jamón, diseños de mezcla.

### SUMMARY

The response resulting from the combination of goat( $X_1$ ), pork( $X_2$ ) and chicken( $X_3$ ) meat was evaluated utilizing the technology of cooked ham manufacture. The measured responses were a color, texture and yield. The experiment's design was a mixture treatment "LATTICE SIMPLEX" for three experimental factors ( $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$ ) with four levels for each factor, for 15 experimental units (different treatments) completely repeated. The responses measured as a function of the experimental factors were modeled using SHEFFÉ's special cubic model to be able to predict values in each one of the responses that had very similar characteristics to the commercial cooked ham. Those mixtures that were able to satisfy these requirements for the "a" color were: 36,43% goat, 16,59% pork and 47 % chicken; for the Texture variable 66,72 % goat, 28,21% pork and 5,07% chicken; and for the variable Yield the combination was 50% goat and 50% pork.

**Key Words:** *Goat, pork, chicken, cooked ham, mixture design.*

## INTRODUCCIÓN

El jamón cocido representa uno de los elaborados de cerdo que más auge está adquiriendo en la actualidad como consecuencia de su buena digestibilidad, bajo contenido graso y ausencia de micro toxinas. También forma parte de los productos carnicos que presenta mayor apetecibilidad por parte de los consumidores, debido a que en él se mantienen las características complementadas por perfiles especiales de jugosidad, firmeza, buena unión y aroma de curado, factores que son cada vez más evaluados por un número creciente de consumidores. Para delimitar la identificación de este tipo de producto la norma venezolana COVENIN [2], lo define como un producto pasteurizado elaborado a base de la carne de los miembros posteriores del cerdo, excluyendo la carne triturada, separados transversalmente de los miembros del costado, entre la última vértebra lumbral y la pierna sacra, a los cuales podrá quitársele o no la piel, tendones y ligamentos sueltos. La carne deberá curarse y podrá ahumarse con especias y condimentos. Sin embargo la carne de aves está siendo utilizada ampliamente para la elaboración de una gran cantidad de productos alimenticios para consumo humano entre ellos el jamón cocido [3]. Pero debido al bajo contenido en mioglobina este tipo de carnes producen un embutido de color pálido [9]. Es conocido también que las procesadoras de jamón endiabado agregan a sus productos carne de cerdos provenientes de madres que han concluido su ciclo reproductivo para mejorar el nivel de pigmentación del producto, dada la mayor cantidad de pigmento que su carne aporta a este. Por otro lado la carne de chivo tiene más pigmentación (mioglobina) que la carne de cerdo y aves, pero se desconoce su comportamiento en la respuesta al color de curado que pueda tener y la posibilidad de desarrollar gelificación dentro de la estructuración de productos como el jamón cocido.

Lara es uno de los estados de Venezuela que presenta un desarrollo significativo en cuanto a la producción de caprinos, constituyendo el segundo estado más productor después de Falcón, con una producción anual mayor a las 300.000 cabezas de la cual obtienen sus ingresos directos unas 12000 familias campesinas [4]; Igualmente ha logrado un mercado importante para su carne, leche y productos lácteos de cabra, pero dada la influencia de los hábitos alimenticios del venezolano la carne de chivo tiene un tope en la demanda como carne fresca, razón por la cual se plantea la necesidad de estudiar alternativas tecnológicas que ofrezcan nuevas posibilidades

comerciales a este tipo de carne y de esta manera generar valor agregado a través de sus productos procesados. Al efecto el presente trabajo tiene como objetivo evaluar la respuesta tecnológica de la combinación de carne de chivo, pollo y cerdo en jamón cocido.

## **MATERIALES Y METODOS**

### **Materia prima e ingredientes**

Los jamones experimentales se fabricaron con perniles y paletas de chivos limpios frescos y despostados de animales hembras, de la raza tipo criollo y con edades de aproximadamente seis meses, suministrados por un proveedor del caserío Aregüe del municipio Torres del Estado Lara. Los perniles de cerdos con garantía de animales fisiológicamente estables, reposo de 24 horas y no estresados antes del beneficio, fueron adquiridos en el frigorífico "El Placer" ubicado en la Av. Ricaurte de San Carlos Estado Cojedes; del mismo modo se obtuvieron las pechugas de pollos. Toda la materia prima fue transportada bajo condiciones de refrigeración, desde los centros de acopio hasta el laboratorio de ingeniería y tecnología de los alimentos (LITA) de la UNELLEZ San Carlos, estado Cojedes, para inmediatamente ser sometidos, al proceso correspondiente a cada tratamiento. Los ingredientes y aditivos utilizados en la solución curante fueron obtenidos de la empresa de suministros CONDIECA, ubicada en San Joaquín Estado Carabobo.

La fórmula utilizada para la preparación de la solución curante fue: Sal común 8.65%, Sal curante 1.5%, Azúcar 1.42%, Fosfatos 2.4%, y Eritorbato 0.285%

### **Proceso tecnológico**

Una vez en el laboratorio la materia prima, fue sometida a un proceso de desposte y limpieza a objeto de eliminar restos de cueros, grasas, huesos y otras piezas extrañas. Posteriormente se procedió al troceado y molido de los mismos, pasando la carne a través de un molino con orificio de 14 mm de diámetro, luego se realizó por separado el proceso de curado (para la carne de chivo, cerdo y pollo) utilizando el método de masajes manual en una relación de 25 partes de solución (ml) para 100 partes (gr) de carne. Estas mezclas (carne solución curante) se colocaron a 4°C por 36 horas, con intervalos de masajeados intermitentes cada 12 hr; Una vez transcurrido la etapa de curado se procedió a la preparación de las mezclas para cada tratamiento, la cual se realizó en forma manual incorporando los diferentes porcentajes de cada tipo de carne. Para luego ser embutidas manualmente en tripa de "cero perdida" con capacidad de 500 gr; Seguida por un proceso de cocinado realizado en dos etapas (asentamiento 45-50 °C por una hora y gelificación a 75-80 °C por 5 hora). Finalmente los embutidos cocinados y preenfriados en baño de agua potable fueron, extraídos de la tripa cero perdida para así realizarles los análisis correspondientes.

## Determinaciones de las respuestas en los jamones cocidos

### Rendimiento

Se determino tomando en cuenta el porcentaje (%) de agua perdida por el producto en un periodo comprendido entre la etapa previa al cocinado y después de la refrigeración. La técnica incluyo pesajes individuales a cada unidad experimental (jamón) antes del cocinado y después de la refrigeración, para luego determinar la cantidad de agua perdida por diferencia, entre el peso inicial (Pi) y el peso final (Pf)

### Textura

Se tomaron cortes transversales de aproximadamente 4cm de espesor a cada jamón, para cuantificar las mediciones, utilizando un texturometro manual GCA/PRECISIÓN SCIENTIFIC de punta de aguja, con un diámetro de 2 mm y longitud de 2 cm. Los resultados se expresaron en lb-f

### Color

Según metodología de Hunter, empleando un colorímetro de reflectancia triestimulo marca HunterLab D-25 con iluminante patrón tipo C y una geometría de iluminación y lectura de 45/0°. Midiendo el parámetro a (relación rojo/rosado).

## Análisis estadístico

El tipo de arreglo de tratamiento utilizado fue un diseño de mezcla en Lattice Simplex, para tres factores experimentales chivo(X1), cerdo(X2) y pollo(X3), con 4 niveles cada uno, para un total de 15 tratamientos distintos, completamente repetidos (2 repeticiones) (TABLA I). Con el cual se genero un modelo cúbico especial de cheffe para cada respuesta, que permitiera construir graficas triangulares tridimensionales para estudiar la variabilidad de las respuestas frente a las distintas mezclas, y poder predecir condiciones operativas deseadas. La estructura matemática del modelo cúbico de Scheffe que se utilizo para los tres factores fue:

$$Y = \sum_{i=1}^k b_i X_i + \sum_{i < j=2}^k b_{ij} X_i X_j + \sum_{i < j < m}^k b_{ijk} X_i X_j X_m$$

Una vez medidas las respuestas (Yij), como se dijo anteriormente se generaron tres modelos, uno para cada respuesta, con la siguiente estructura:

$$Y = b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_{12} X_1 X_2 + b_{13} X_1 X_3 + b_{23} X_2 X_3 + b_{123} X_1 X_2 X_3$$

Se construyeron los cuadros de análisis de varianza (ANAVAR) del modelo completo para cada respuesta. Y se obtuvo la significancia del efecto de tratamiento, de los factores de estudios, y demás términos del modelo así como el coeficiente de determinación (R<sup>2</sup>). Para el análisis de los datos se utilizo el programa SAS versión 8,00 [6]; Y la representación grafica se realizó con el software STATISTICA versión 6.0 [13].

**TABLA I.** MATRIZ DE DISEÑO DE TRATAMIENTO PARA EL EXPERIMENTO CON MEZCLAS DE TRES FACTORES, EN LATTICE SIMPLEX/A TREATMENT DESIGN MATRIX FOR THE EXPERIMENT WITH MIXTURES OF 3 FACTORS ARRANGED IN A SIMPLEX LATTICE.

TRATAMIENTO	CHIVO % $X_1$	CERDO % $X_2$	POLLO % $X_3$
1	0	0	1
2	0	0,25	0,75
3	0	0,5	0,5
4	0	0,75	0,25
5	0	1	0
6	0,25	0	0,75
7	0,25	0,25	0,5
8	0,25	0,5	0,25
9	0,25	0,75	0
10	0,5	0	0,5
11	0,5	0,25	0,25
12	0,5	0,5	0
13	0,75	0	0,25
14	0,75	0,25	0
15	1	0	0

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Modelos matemáticos

Los modelos obtenidos para cada una de las respuestas fueron:

$$\text{Color } a = 16,40X_1 + 12,29X_2 + 5,12X_3 - 4,59X_1X_2 + 11,16X_1X_3 + 3,43X_2X_3 + 6,93X_1X_2X_3$$

$$\text{Textura} = 166,4X_1 + 149,8X_2 + 72,7X_3 + 111,4X_1X_2 + 8,6X_1X_3 + 182,1X_2X_3 - 1050,3X_1X_2X_3$$

$$\text{Rendimiento} = 98,4X_1 + 99,5X_2 + 94,9X_3 + 2,4X_1X_2 + 2,17X_1X_3 - 8,4X_2X_3 + 46,31050,3X_1X_2X_3$$

Según Lawson y col [8]. El objetivo en los problemas de mezclas, es encontrar un modelo que permita pronosticar el valor de la variable dependiente, en función de sus componentes; Al efecto los modelos encontrados en esta investigación permitieron predecir valores en cada una de las respuestas con características muy parecidas al jamón cocido comercial; Con respecto al valor "a" que es indicativo del color rojo/rosado, la mezcla que satisfizo estos requerimiento fue: 36,43% de chivo, 16,59% de cerdo y 47 % de pollo; Para la textura 66,72 % de chivo, 28,21%

de cerdo y 5,07% de pollo y para el rendimiento 50% de chivo y 50% de cerdo.

### Color

Los resultados obtenidos del análisis de varianza (TABLA II) para la respuesta color "a" (rojo-rosado) muestran que los tratamientos son altamente significativos ( $P < 0,01$ ). Esto indica que los factores experimentales chivo( $X_1$ ), cerdo( $X_2$ ) y pollo( $X_3$ ) contribuyen significativamente a la variabilidad del color "a", siendo la carne de chivo el factor que más contribuye. Esto resulta lógico dado que la mayor pigmentación (mioglobina) esta dada por la carne de chivo y en el mismo orden le sigue el cerdo y finalmente el pollo. Lo cual es una consecuencia de las diferencias de pigmentaciones en las carnes para las diferentes especies, siendo esto uno de los factores que afecta el color de las carnes y a mayor pigmentación mayor respuesta al color de curado puesto que esto es una consecuencia de la reacción de la mioglobina presente en el músculo y coincide con lo reportado por Mohler [10] para carne de bovino y cerdo. Por tanto al aumentar la carne de chivo en la formulación y al disminuir la de pollo y cerdo aumenta proporcionalmente la respuesta color de curado en los jamones (FIG. 1), puesto que si bien la dosis de nitrito se mantiene la respuesta va a depender de la cantidad de mioglobina presente en la carne. Esto coincide con los resultados de Kim y col [7] quienes encontraron diferencias en los valores de color en el Hunter entre geles preparados con surimi de "catfish" provenientes de carnes lavadas y sin lavar y con los resultados de García [5] quien también encontró diferencias de color en productos tipo gel elaborados con carne de cachama, sin lavar y lavada, en la cual se remueve la mioglobina, aun cuando la dosis de nitritos fue igual para ambos productos.

El factor pollo( $X_3$ ) no influyo significativamente ( $P > 0,05$ ) en la variabilidad del color "a" y las interacciones de primer orden chivo( $X_1$ )\*cerdo( $X_2$ ), fueron significativamente diferentes ( $P < 0,05$ ), mientras que la chivo( $X_1$ )\* pollo( $X_3$ ), fue altamente significativamente ( $P < 0,01$ ). Estos resultados están en sintonía con lo descrito sobre el efecto de la pigmentación de la carne de chivo sobre el color de curado. El coeficiente de determinación  $R^2 = 65,16$  % significa que el 65.16% de la variabilidad de la respuesta color "a" es explicado por los factores de estudio, bajo el modelo propuesto y bajo las condiciones experimentales de trabajo. El resto 34.84% pudiera ser explicado por factores no involucrados o por falta de ajuste del modelo.

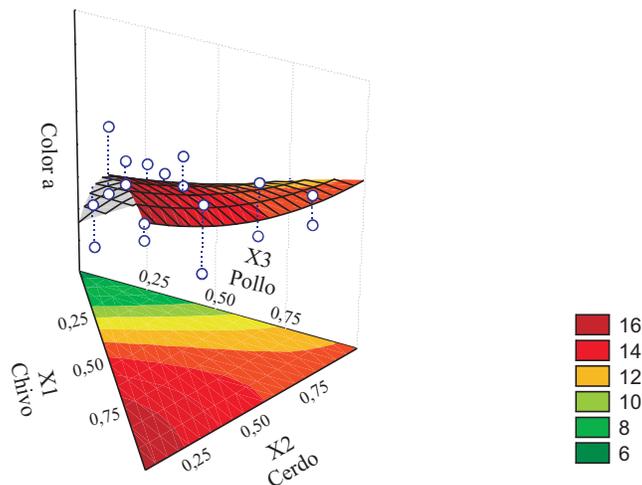
**TABLA II. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA APARIENCIA COLOR "a" / "a" COLOR APPEARANCE VARIANCE ANALYSIS**

FV	GL	SC	CM	FC	Pr < F
Tratamientos	14	33,6410	2,4029	32,5596	**
Regresión	7	23,2863	3,3266	45,0758	**
1º orden	3	20,8026	6,9342	93,9593	**
X1	1	15,9674	15,9674	216,3604	**
X2	1	4,7142	4,7142	63,8780	**
X3	1	0,1210	0,1210	1,6395	NS
Interacciones	4	2,4837	0,6209	8,4132	**
X1*X2	1	0,5705	0,5705	7,7303	*
X1*X3	1	1,6903	1,6903	22,9037	**
X2*X3	1	0,2095	0,2095	2,8387	NS
X1*X2*X3	1	0,0134	0,0134	0,1815	NS
Falta de ajuste	7	10,3547	1,4792	20,0433	**
Repetición (rep)	1	1,0612	1,0612		
Rep*trat	14	1,0341	0,0738		
Error combinado	15	2,0953	0,1396		
Total	29	35,7363			

$R^2 = 65,16\%$ .

FV. Fuente de variación. GL. Grados de libertad. SC. Suma de cuadrados. CM. Cuadrado medio.

FC. F calculado. Pr < F. Probabilidad menor que F calculado. \*\* (P < 0,01). \* (P < 0,05). NS. No significativo



**FIGURA 1. SUPERFICIE DE RESPUESTA TRIANGULAR PARA EL COLOR "a" / "a" COLOR TRIANGULAR SURFACE RESPONSE**

## Textura

En la TABLA III se observa el análisis de varianza para la respuesta textura y muestra que los tratamientos como todos los componentes del modelo son altamente significativos ( $P < 0,01$ ), indicando ello que los factores experimentales chivo( $X_1$ ), cerdo( $X_2$ ) y pollo( $X_3$ ) y sus combinaciones contribuyen significativamente a la variabilidad de la textura del jamón cocido. El factor que más contribuye es la carne de cerdo( $X_2$ ). Lo cual según Ordóñez y col [11] se debe al fenómeno de ligazón producto de la formación de una matriz proteica funcional en el seno del producto, que surge entre y a partir de los trozos de carne y depende de las proteínas miofibrilares extraíbles, la fuerza iónica (acción de la sal) el pH de la carne y el tratamiento mecánico aplicado (masaje).

La grafica de superficie de respuesta para la textura (FIG. 2), indica que al aumentar la carne de chivo( $X_1$ ) en la formulación, disminuir la de cerdo( $X_2$ ) con cero de pollo( $X_3$ ), se consigue la textura más alta del jamón cocido. Y los menores valores se obtienen con altas cantidades de pollo( $X_3$ ), baja de chivo( $X_1$ ) y cero de cerdo( $X_2$ ). Esta respuesta evidencia el incremento en la textura que aporta el chivo y cerdo con relación al pollo que la disminuye, lo cual podría explicarse en que durante las operaciones del beneficio del cerdo y chivo hay menos posibilidad de absorción de agua que en el pollo. Tan es así que se establece como limite máximo de incremento en peso por este motivo el 12% para el caso del pollo, cosa que no ocurre para el cerdo y el chivo. Puesto que el pollo absorbe una considerable cantidad de agua durante su beneficio, específicamente en la etapa de enfriamiento ya que este es sumergido en agua después del eviscerado.

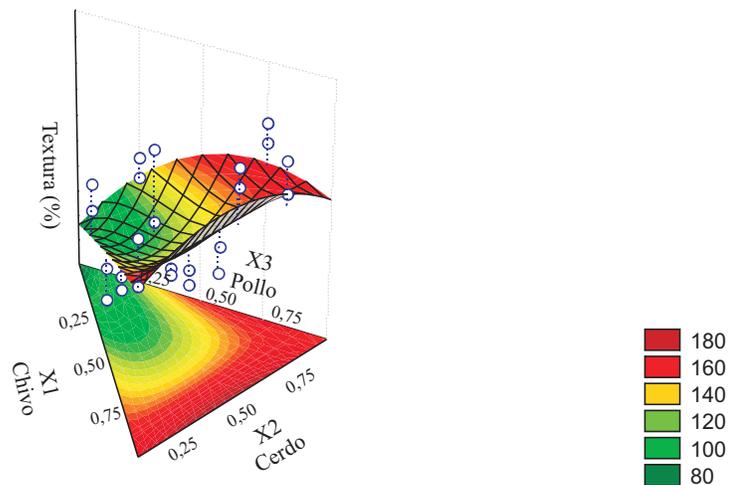
Al efecto esta absorción de agua puede afectar la textura de la carne de pollo y esto se traduciría en una disminución de la textura de los productos elaborados con carne de pollo.

**TABLA III. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA RESPUESTA TEXTURA/ TEXTURE RESPONSE VARIANCE ANALYSIS.**

FV	GL	SC	CM	FC	Pr > F
Tratamientos	14	22,4310	1,6022	340,8936	**
Regresión	7	17,4847	2,4978	531,4468	**
1º orden	3	13,7981	4,5993	978,5744	**
X1	1	2,3531	2,3531	500,6595	**
X2	1	11,1330	11,1330	2368,7234	**
X3	1	0,3120	0,3120	66,3829	**
Interacciones	4	3,6866	0,9216	196,0851	**
X1*X2	1	0,0852	0,0852	18,1276	**
X1*X3	1	0,6328	0,6328	134,6382	**
X2*X3	1	0,9942	0,9942	211,5319	**
X1*X2*X3	1	1,9744	1,9744	420,0851	**
Falta de ajuste	7	4,9463	0,7066	150,3404	**
Repetición (rep)	1	0,4821	0,4821		
Rep*trat	14	0,0660	0,0047		
Error combinado	15	0,5481	0,0365		
Total	29	22,9791			
$R^2 = 76,09\%$					

FV. Fuente de variación. GL. Grados de libertad. SC. Suma de cuadrados. CM. Cuadrado medio.

FC. F calculado. Pr < F. Probabilidad menor que F calculado. \*\* (P < 0,01). \* (P < 0,05). NS. No significativo.



**FIGURA 2. SUPERFICIE DE RESPUESTA TRIANGULAR PARA LA TEXTURA/TEXTURE TRIANGULAR SURFACE RESPONSE**

## Rendimiento

Los resultados del análisis de varianza para la respuesta rendimiento (TABLA IV) muestra que los tratamientos así como todos los componentes del modelo son altamente significativos ( $P < 0,01$ ). Esto indica que los factores experimentales bajo estudio y sus combinaciones contribuyen significativamente a la variabilidad del rendimiento del jamón cocido. El factor que más contribuye a la variabilidad del rendimiento es la carne de cerdo ( $X_2$ ). Lo cual podría indicar que el cerdo respondió favorablemente a la etapa de asentamiento, pues Álvarez y col [1] con asentamientos de  $35^{\circ}\text{C}/60\text{min}$  y Reppón y col [12] con asentamiento a  $40^{\circ}\text{C}$  previo al cocinado a  $90^{\circ}\text{C}$  obtuvieron buena fuerza de gel y buen rendimiento en productos moldeados semejantes al jamón cocido.

La grafica de superficie de respuesta para el rendimiento (FIG. 3), muestran que el mayor rendimiento del jamón cocido se obtiene al incrementar la carne de chivo ( $X_1$ ) y cerdo ( $X_2$ ) en la formulación. Y el menor rendimiento se consigue con altas cantidades de pollo.

Estos resultados para el rendimiento donde el incremento del pollo se traduce en una disminución del rendimiento estaría en sintonía con lo descrito para su efecto sobre la textura como consecuencia del agua absorbida por el pollo durante las operaciones del beneficio, que como se indico no ocurre en el caso del cerdo y chivo. Es importante considerar que ha esa absorción de agua por parte del pollo se sumaria la del agua agregada en la solución curante en el proceso de elaboración del jamón cocido, lo cual podría estar sobre pasando la capacidad de retención de agua de este tipo de carne y el exceso será drenado durante el cocinado; traduciéndose en una disminución del rendimiento con relación a los productos donde domina la carne de cerdo y chivo en su formulación los cuales no estarían afectados por este aspecto. Según Varnam y Sutherland [14] el agua constituye entre el 20 y 40% de la formulación de un producto carnico y que habitualmente se añade hasta el 50% de agua aunque en realidad el contenido de agua estaría en relación con el contenido de proteína (4 veces el porcentaje de proteína mas 10). Al efecto si en el caso del pollo la proteína permanece constante, el exceso de agua drena durante el cocinado, lo cual disminuye el rendimiento.

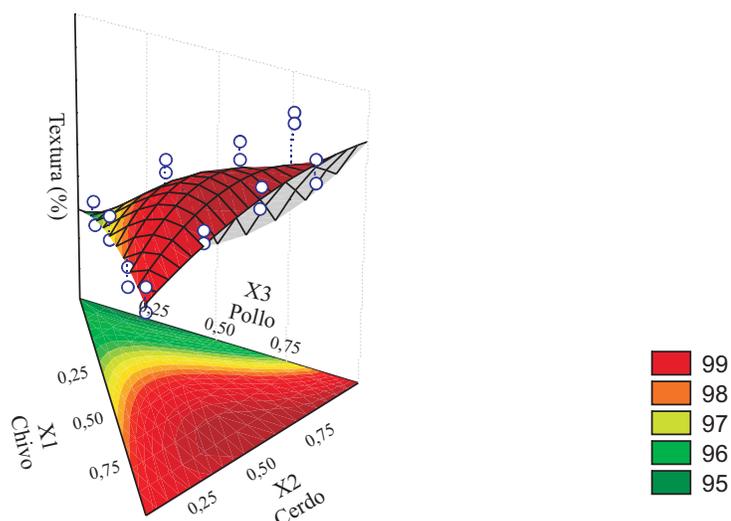
**TABLA IV. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA RESPUESTA RENDIMIENTO/YIELD RESPONSE VARIANCE ANALYSIS.**

FV	GL	SC	CM	FC	Pr > F
Tratamientos	14	36,1421	2,5815	271,7368	**
Regresión	7	20,7815	2,9687	312,4947	**
1° orden	3	15,9626	5,3208	560,0842	**
X1	1	5,1437	5,1437	541,4421	**
X2	1	10,5678	10,5678	1.112,4	**
X3	1	0,2511	0,2511	26,4315	**
Interacciones	4	4,8189	1,2047	126,8105	**
X1*X2	1	1,1323	1,1323	119,1894	**
X1*X3	1	1,3584	1,3584	142,9894	**
X2*X3	1	0,8703	0,8703	91,6105	**
X1*X2*X3	1	1,4579	1,4579	153,4631	**
Falta de ajuste	7	15,3606	2,1943	230.9789	**
Repetición (rep)	1	0,5110	0,5110		
Rep*trat	14	0,1331	0,0095		
Error combinado	15	0,6441	0,0429		
Total	29	36,7862			

$R^2 = 56,49$

FV. Fuente de variación. GL. Grados de libertad. SC. Suma de cuadrados. CM. Cuadrado medio.

FC. F calculado. Pr < F. Probabilidad menor que F calculado. \*\* (P < 0,01). \* (P < 0,05). NS. No significativo.



**FIGURA 3. SUPERFICIE DE RESPUESTA TRIANGULAR PARA EL RENDIMIENTO/YIELD TRIANGULAR SURFACE RESPONSE**

## CONCLUSIONES

En este estudio las mezclas que permitieron a los modelos matemáticos predecir valores con características muy parecidas al jamón cocido comercial fueron, Para el color "a" 36,43% de chivo, 16,59% de cerdo y 47 % de pollo; Para la textura 66,72 % de chivo, 28,21 % de cerdo y 5,07% de pollo y para el rendimiento 50% de chivo y 50% de cerdo.

La carne de pollo no influyó significativamente ( $P > 0,05$ ) con respecto al color "a", mientras que la de chivo y cerdo fueron altamente significativa ( $P < 0,01$ ).

La carne de chivo y cerdo aumentan la textura y el rendimiento del jamón cocido, mientras que la carne de pollo los disminuye.

## RECOMENDACIONES

Caracterización físico químicas y microbiológicas del producto terminado.

Evaluación de la vida útil del producto (estabilidad)

Estudiar la homogenización de la mezcla mediante la utilización de cutter como operación previa al moldeado, en la elaboración del producto.

## AGRADECIMIENTO

Los autores expresan su agradecimiento al laboratorio de ingeniería y tecnología de los alimentos (**LITA**) del vicerrectorado de infraestructura y procesos industriales. **UNELLEZ**, San Carlos, Estado Cojedes.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ALVAREZ, Z, C; COUSO, I; Tejada, M. Sardine surimi gels as affected by salt concentration blending, heat treatment and moisture. *J. of Food Sci.* 60 (3): 622-626 pp. 1995.
- [2] COMISIÓN VENEZOLANA DE NORMAS INDUSTRIALES. (COVENIN). **Norma Venezolana COVENIN 1602-80**. Alimentos. Jamón Cocido 1-4 pp.
- [3] CRUJIC, R; MULALIC, N; SOLAJA, M. Efficacy of using mechanically deboned chicken meta minced meat products. *Hrana-I-ishrana.* 32(2):83-85. 1991
- [4] GALEO, F. Comercialización de la carne de caprinos en el área metropolitana de la ciudad de Barquisimeto. *UCLA. Decanato de Ciencias Veterinarias. Departamento Socio-económico.* Barquisimeto, Estado Lara. 1-4 pp. 1987.

- [5] GARCÍA, M.A. Comportamiento de la carne de cachama (*colossoma macropomum*) ante tratamientos tecnológicos vinculados a la elaboración de productos moldeados y emulsionados. Unellez San Carlos. 83 pp. 2005.
- [6] INSTITUTE INC. Statistical Analysis System for Windors. Cary, Nort Carolina, USA. Release 8.00. 1999.
- [7] KIM, J. M; LIU, C. H. EUN; J.B.PARK, J.W; OSHIMI R; HAYASHI K; OTT, B; ARAMAKIT, T; SEKINE, M; HORIKITA, Y; FUYIMOTO, K, AIKAWA, T; WELCH, L; LON, R . Surimi from fillet frame of channel catfish. Journal of food Science. 61:428-431. 1996
- [8] LAWSON, J; MADRIGAL, J; ERJAVEC, J. Estrategias Experimentales Para Mejoramiento de la Calidad en la Industria. I Edición, Grupo editorial Iberoamericano. Mexico, 243-253 pp. 1992
- [9] MÁRQUEZ, E; SALAZAR, A. Efecto de diferentes niveles iniciales de nitrito y tipo de fibra en algunas características de productos curados. Revista científica FCV-LUZ. 1(1): 35-41. 991.
- [10] MOLER, K. El curado. Editorial Acribia. Zaragoza.España. 50-66 pp. 1982.
- [11] ORDÓÑEZ, J. A; CAMBERO, M. I; FERNÁNDEZ, L; GARCIA, M. L, DE FERNANDO, G.G; DE LA HOZ, L; Y SELGAS, M.D. Tecnologia de alimentos .Volumen II - Alimentos de origen animal.Editorial Acribia, S.A.España. 276-277 pp. 1998
- [12] REPÓN, K.D; BABBIT, J.K; BERNTSEN, S; TSURUTA, M. Gel properties of surimi from pacific herring. J. Food Sci. 707-714 pp. 1995.
- [13] STATSOFT, INC. STATISTICA (data analysis software system), version 6. 2001.
- [14] VARNAM, A.H; Y SUTHERLAND, J.P. Carne y productos carnicos - tecnología química y microbiológica. Editorial Acribia. S.A. Zaragoza. España. 125pp. 1998.

**LECHE DE COCO: COMPOSICIÓN, TECNOLOGÍA Y FUNCIONALIDAD.  
NUEVAS OPORTUNIDADES PARA SU CONSERVACIÓN Y USO**

**COCONUT MILK: COMPOSITION, TECHNOLOGY AND FUNCTIONALITY.  
NEW OPPORTUNITIES FOR ITS PRESERVATION AND USE**

*Navarro<sup>1</sup>, P., Tapia<sup>2</sup>M., Pérez<sup>2</sup> E. y Fernández<sup>3</sup>, J. Welte-Chanes<sup>4</sup>, J.*

<sup>1</sup>MSc. (UCV). Doctorando de Ciencia y Tecnología de Alimentos (ICTA). Instituto Universitario Cumaná, IUT-C. Sucre, Venezuela.

<sup>2</sup>MSc. (MSU-USA). Profesora Asociado. Doctorando de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos, ICTA-UCV, Caracas, Venezuela.

<sup>3</sup>Ph.D. (WSU, USA). Profesor Titular (J). Coordinación de Postgrado, Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales "Ezequiel Zamora", UNELLEZ. Cojedes. Venezuela 2201. juanfer24@cantv.net

<sup>4</sup>Dr. (UDLAP, México). Profesor Titular. Universidad de Las Américas. Puebla, México.

Recibido: 12-01-2007 / Aceptado: 30-03-2007

**RESUMEN**

La leche de coco es una emulsión obtenida de la extracción acuosa del endospermo del fruto o carne, tiene un sabor agradable y puede ser una fuente calórica importante, además de que por su composición en ácidos grasos podría considerarse como un alimento funcional. Esta revisión contempla datos composicionales (fisicoquímicos y nutrimentales), así como los problemas de estabilidad fisicoquímica, microbiológicos y los procedimientos de conservación que se aplican actualmente. La oportunidad de este producto como un alimento funcional y nuevos procedimientos de conservación también son comentados.

**Palabras clave:** *Leche de coco, procesamiento, composición leche de coco, monolaurin, alimentos funcionales.*

### SUMMARY

Coconut milk is an emulsion obtained from aqueous extraction of the fruit endosperm or flesh; it has a good flavor and may be an important caloric source, moreover for its fatty acids composition may be considered as a functional food. This review includes compositional data (physicochemical and nutrimental), physicochemical stability, microbiological problems and conservation methods as they are presently employed. The opportunity of this product like a functional food and the new procedures of preservation are also commented.

*Key words:* Coconut milk, processing, coconut milk composition, monolaurin, functional foods.

## INTRODUCCION

Se estima que el 25% de la producción de coco a nivel mundial, es consumida fundamentalmente como leche (Seow y Gwee, 1997). El consumo de leche de coco es principalmente como ingrediente en múltiples platos culinarios aunque la tendencia actual es su consumo por la presencia de ácidos grasos saturados de cadena media (ácido láurico y cáprico) que muestran relación, al igual que la leche materna, en el sistema inmunológico al controlar bacterias, virus y parásitos (<http://www.lauric.org/milkproject.html>).

### **Definición y reglamentación**

La mayoría de las fuentes bibliográficas señalan, que la leche de coco es una emulsión de grasa en agua, de color blanca, obtenida por compresión de la carne de coco desintegrada, empleando o no, su agua o agua potable, y posterior tamizado de la leche obtenida, con el objeto de eliminar la fibra cruda presente en el producto final (Ohler, 1999; Chiewchan y col., 2005; Tansakul y Chaisawang, 2005). La APCC (Asian and Pacific Community Coconut, 1997), define leche de coco como la emulsión acuosa obtenida de la desintegración del endospermo sólido (carne de coco) con porción del endospermo líquido (agua de coco), o el equivalente o adicional de agua potable. El CODEX (1999), la define como una emulsión diluida de endospermo (almendra de coco) de coco desmenuzado en agua con una distribución homogénea de los sólidos solubles y en suspensión, y se ajusta a los requisitos especificados en esta norma. Ninguna información nacional regula la leche de coco, solo existen dos normas COVENIN para otros productos del coco: Alimento para animales. Harina de coco (COVENIN 1413-79) y grasa comestible de coco (COVENIN 2185-99)

### **Composición, calidad nutricional y sensorial**

Los valores proximales de la leche de coco fluctúan debido a varios factores como variedad del fruto, localización geográfica, prácticas culturales, madurez de la nuez, métodos de extracción y cantidad de agua incorporada durante el proceso de extracción.

En el cuadro 1 se reporta la composición fisicoquímica de la leche de coco cruda, enlatada y congelada, según el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, 2005). Básicamente el agua y grasa son sus principales constituyentes. Con baja cantidad de proteína, carbohidratos, fibra y cenizas. Cerca del 95 % de los lípidos son de cadena saturadas, principalmente representadas por el ácido láurico.

**Cuadro 1.** Composición físico-química de leche de coco.

<b>Nutrientes (%)</b>	<b>Cruda</b>	<b>Enlatada</b>	<b>Congelada</b>
Humedad	67,62	72,88	71,42
Proteína	2,29	2,02	1,61
Lípidos totales	23,84	21,33	20,80
Cenizas	0,72	0,97	0,59
Carbohidratos	5,54	2,81	0
Fibra dietética total	2,2	-	-
Azúcar total	3,34	-	-
<b>Lípidos (%)</b>			
Ácidos grasos saturados totales	21,14	18,92	18,44
Cáprico	1,33	1,19	1,16
Láurico	10,58	9,46	9,23

Fuente USDA (2005)

De igual manera, se muestra en el cuadro 2, la clasificación la leche de coco según el CODEX (2001), en tres categorías de acuerdo a su contenido de grasa: tipo A con más de 17 %, B entre 13 y 17 % y C menos del 10% p/p.

**Cuadro 2.** Extracto seco, magro y contenido de grasa para diferentes leches de coco.

<b>Producto</b>	<b>Extracto seco total (% p/p) Mín.- máx.</b>	<b>Extracto seco magro (% p/p) Mín.</b>	<b>Materia grasa (% p/p) Mín.</b>
Leche de coco de calidad A	21,8 -25,3	4,8	17
Leche de coco de calidad B	16,0 – 21,7	3,0	13
Leche de coco de calidad C	12,7 – 15,9	2,7	10

Fuente. CODEX (2001).

El cuadro 3 resume la composición nutricional de la leche de coco para dos marcas comerciales, observándose que es una fuente principalmente de grasa y carbohidratos como sacarosa, almidón y fibra. La grasa es mayoritariamente presente es saturada, donde el ácido láurico representa la mayor proporción. Los minerales comúnmente encontrados son fósforo, calcio y potasio. Es pobre en vitamina A y C, y bajo en proteínas, las cuales son básicamente albúminas y globulinas. El aminoácido limitante es la metionina.

La leche de coco, presenta gran aceptación motivada a sus atributos sensoriales; color blanco cremoso, cuerpo y textura homogénea; encantador sabor y olor, característicos del coco.

### Tecnología

**Obtención.** La figura 1, muestra el proceso de obtención de leche de coco, siendo los procesos tecnológicos necesarios: cortado, descascarado, remoción testa (película marrón) que puede en algunas personas ser indigesta, lavado, escaldado, molienda, extracción y filtración. El proceso de escaldado, persigue la inactivación de las lipasas endógenas, de manera de minimizar la hidrólisis de los triglicéridos, ablandar los tejidos y reducir la viscosidad de la grasa. Durante los posteriores procesos de extracción, estos pueden ser de varias modalidades: sin incorporación de agua, incorporando agua a diferentes proporciones o adicionando la propia agua del coco.

En vista de que la leche de coco es un producto muy perecedero, es necesario estabilizarla por métodos de conservación clásicos como la esterilización comercial, congelación o deshidratación (Manduca, 1973; Woodroof, 1970; APCC, 1997; Seow y Gwee, 1997; CODEX, 1999; Olher, 1999; Flores, 2001; Chiewchan y col., 2005; Tansakul y Chaisawang, 2005).

	MARCA COMERCIAL			
	ROLAND		VIOCAR	
PAIS DE ORIGEN	TAILANDIA		VENEZUELA	
TAMAÑO RACION	30 mL.		32mL.	
CALORIAS	80		80	
CALORIAS GRASA	70		80	
APORTE	GRAMOS	% DIARIO <sup>1</sup>	GRAMOS	% DIARIO
GRASA TOTAL	8	13	8	13
SATURADOS	7	35	7	35
COLESTEROL	0	0	0	0
TRANS	0			
SODIO	5mg.	0	5mg.	0
TOTAL				
CARBOHIDRATOS	3	1	3	1
AZUCAR	1		1	
FIBRA	1	4	0	0
PROTEÍNA	0	0	1	
VITAMINA A		0		0
VITAMINA C		2		0
CALCIO		2		4
HIERRO		2		10

<sup>1</sup>Porcentajes diarios calculados en base a una dieta de 2000 calorías

**Cuadro 3.** Composición nutricional de leche de coco.

	MARCA COMERCIAL			
	ROLAND		VIOCAR	
PAIS DE ORIGEN	TAILANDIA		VENEZUELA	
TAMAÑO RACION	30 mL.		32mL.	
CALORIAS	80		80	
CALORIAS GRASA	70		80	
APORTE	GRAMOS	% DIARIO <sup>1</sup>	GRAMOS	% DIARIO
GRASA TOTAL	8	13	8	13
SATURADOS	7	35	7	35
COLESTEROL	0	0	0	0
TRANS	0			
SODIO	5mg.	0	5mg.	0
TOTAL				
CARBOHIDRATOS	3	1	3	1
AZUCAR	1		1	
FIBRA	1	4	0	0
PROTEÍNA	0	0	1	
VITAMINA A		0		0
VITAMINA C		2		0
CALCIO		2		4
HIERRO		2		10

<sup>1</sup>Porcentajes diarios calculados en base a una dieta de 2000 calorías

Fuente. Tomada de las etiquetas de los productos comerciales.

**Esterilización.** Se requiere incorporar estabilizantes y aplicar un proceso de homogeneización para estabilizar la emulsión. La aplicación de calor a altas temperaturas se logra en autoclaves. Los envases usualmente empleados son el de hojalata o vidrio, en diferentes tamaños.

Durante la esterilización comercial, la leche de coco es normalmente procesada hasta alcanzar un  $F_0$  cercano a 5 min. (APCC, 1994; Seow y Gwee, 1997), cumpliendo con el criterio de 12D. Este tratamiento de calor se requiere porque la leche de coco, es un producto líquido de baja acidez, con un pH aproximado a 6.2 (Seow y Gwee, 1997). En el cuadro 4, se reportan los tiempos del proceso de esterilización recomendados, observándose que se encuentran cercanos a un  $F_0$  igual a 5 min.

El esquema 2, muestra los procesos a seguir para obtener leche de coco esterilizada. Inicialmente se efectúa un tratamiento térmico para precipitar aquellas proteínas termolábiles (cuajada) y poder ser removidas en la siguiente etapa. Seguidamente se efectúa la adición de estabilizantes y la homogeneización, etapas que permiten estabilizar la emulsión y minimizar la separación de fases. Finalmente se envasa, se sella, se esteriliza y almacena a temperatura ambiente, alcanzando una vida útil de dos años.

**Cuadro 4.** Procesos térmicos recomendados para productos acuosos de baja acidez de coco a diferentes temperaturas iniciales ( $T_i$ ), tamaño de envase y temperatura de medio de calentamiento, de acuerdo con las especificaciones de los estándares (APCC, 1994).

Tamaño del envase	Tiempo en min. a 115°C		Tiempo en min. a 121°C		Fo, Letalidad equivalente (min.)
	$T_i = 21^\circ\text{C}$	$T_i = 71^\circ\text{C}$	$T_i = 21^\circ\text{C}$	$T_i = 71^\circ\text{C}$	
211 x 400	36	30	22	18	4,85
307 x 409	40	35	27	22	4,94
401 x 411	46	39	30	25	5,08
603 x 700	61	51	42	33	5,39

Fuente Seow y Gwee, 1997.

**Congelación.** Obtenida la leche, se pasteuriza a 116 °C por algunos segundos, e inmediatamente se envasa y congela a temperaturas por debajo de -18°C. Bajo estas condiciones, el producto muestra retener sus atributos organolépticos, por al menos 1 año (Seow y Gwee, 1997).

**Secado.** La leche de coco es mezclada con algunos aditivos como maltodextrina, caseína, jarabe de maíz o leche descremada, que coadyuvan el proceso de secado y convierten al polvo obtenido fluidizado y cohesivo gracias al “encapsulamiento” de la grasa. La mezcla se pasteuriza y se homogeneiza. Seguidamente, se efectúa preferiblemente un secado por atomización o “spray-drying”, siendo este el método comercialmente empleado, para obtener productos deshidratados de excelente color y solubilidad en agua a temperatura ambiente. Se reduce el contenido acuosos a valores de 0,8 a 2% p/p, e incrementan a 60 a 63 % p/p de grasa, 4,5 a 6,9 % p/p de proteína, 27,3 a 28,7 % de carbohidratos y de 1,0 a 1,8 % de minerales. La autoxidación de la grasa, la pérdida de solubilidad, el apelmazamiento representan el mayor obstáculo para estabilizar el producto deshidratado, ocurriendo estos deterioros en tan solo 4 meses a temperatura ambiente.

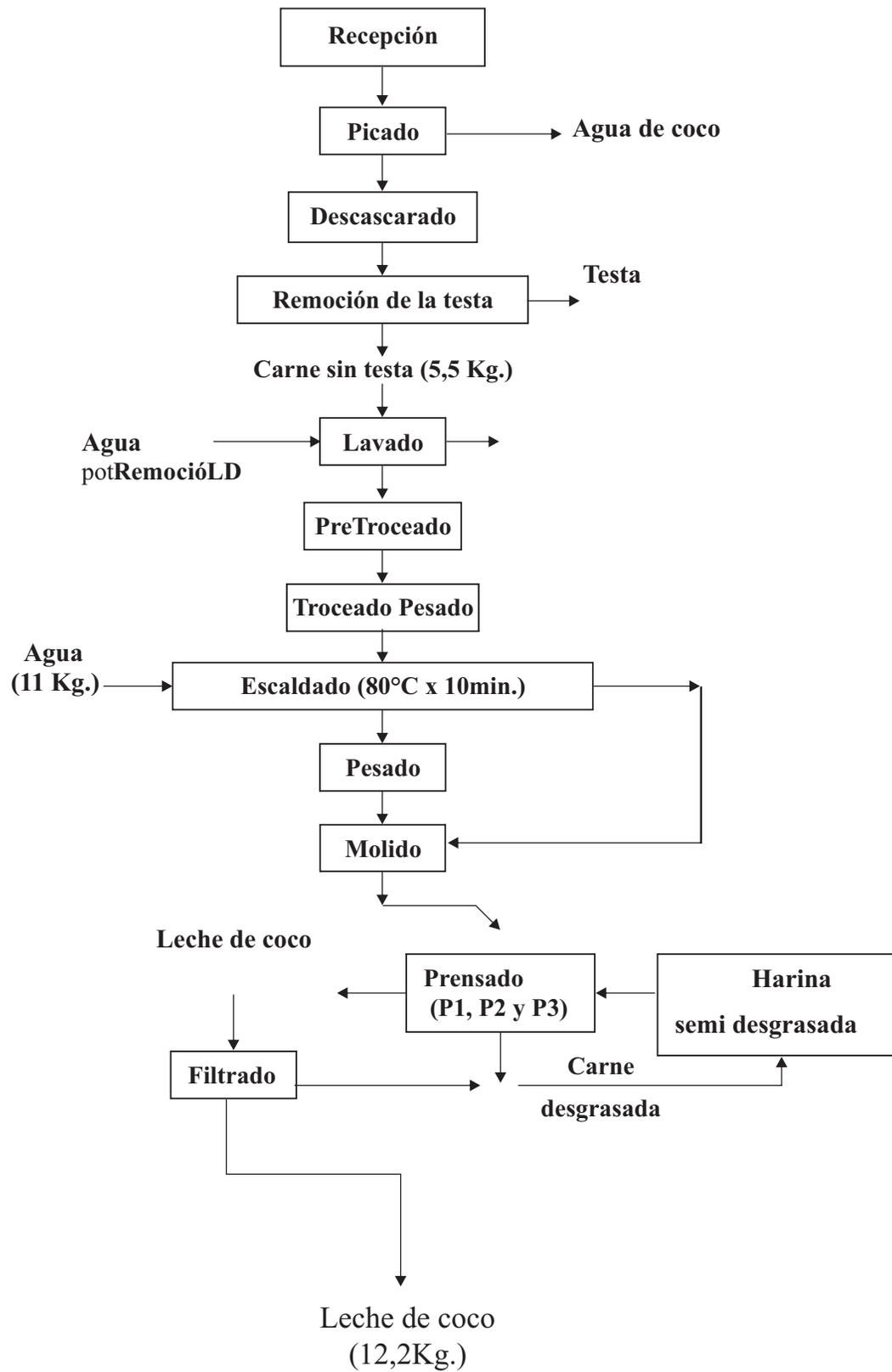


Figura 1. Esquema de obtención de leche de coco.

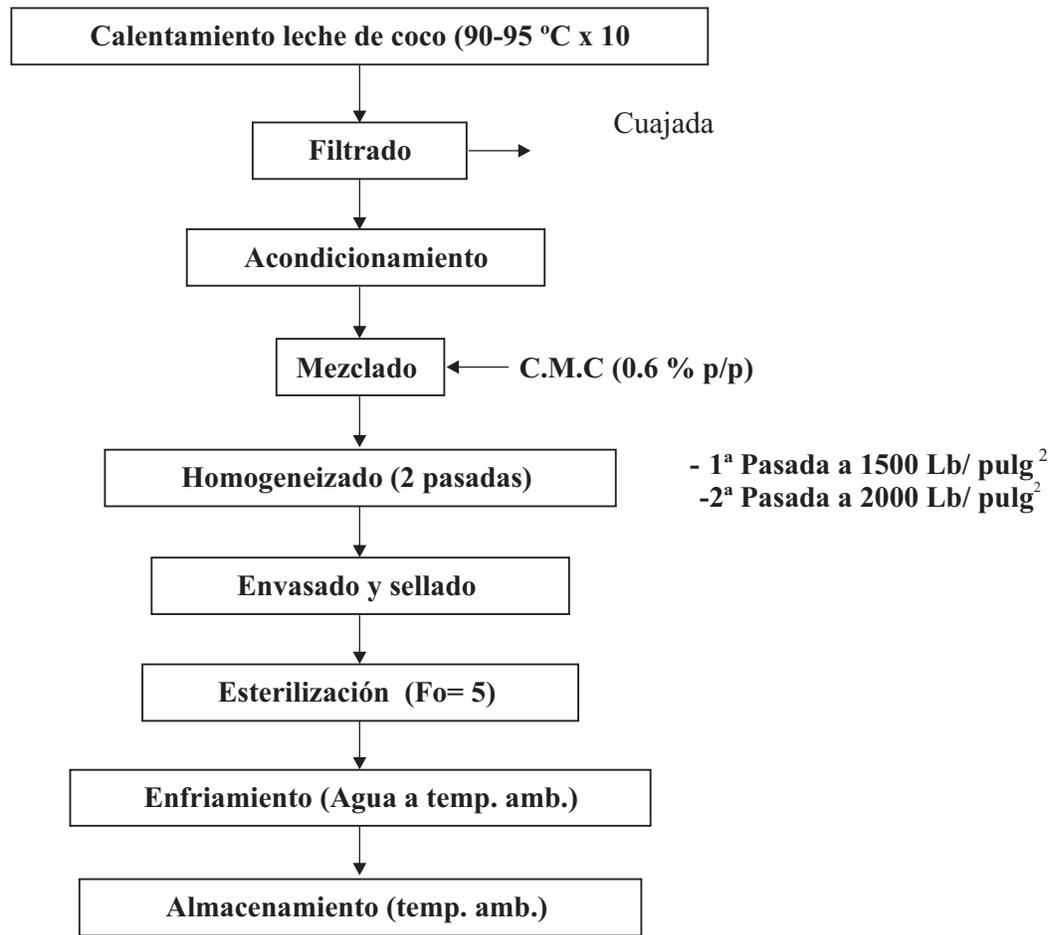


Figura 2. Esquema leche de coco esterilizada comercialmente.

## Estabilidad

**Estabilidad físico-química.** La leche de coco no es estable físicamente y sus fases tienden a separarse. Esta en forma natural es propensa a la coalescencia después de 5 a 10 horas de su elaboración (Tangsuphoom y Coupland, 2005). Es indispensable agregar emulsificantes y estabilizantes apropiados conjuntamente con una homogeneización aplicando presiones adecuadas, para la reducción del diámetro de los glóbulos grasos antes del tratamiento con calor, para así mantener la estabilidad de la emulsión. La emulsión de la leche de coco es estabilizada por sus proteínas naturales, específicamente albúminas y globulinas, y fosfolípidos como lecitina y cefalina (Birosele y col., 1963 citado por Tangsuphoom y Coupland, 2005). Los diglicéridos y monoglicéridos también tienen propiedades emulsificantes. Las soluciones de proteínas acuosas, rodean a los glóbulos de grasa evitando reagrupamientos e incorporándole viscosidad al producto como lo hacen los estabilizantes artificiales (CMC, gomas, etc), para

disminuir la velocidad de los glóbulos de grasa, por esta razón a las proteínas se les llaman “estabilizantes naturales”.

Algunas investigaciones han demostrado que el tamaño que las partículas de grasa, la dispersión y la temperatura tienen efectos importantes en la estabilidad de alimentos con alto contenido graso como la leche, la leche de coco, el yogurt y el queso (Shaker y col. 2000; Xu y col., 1998; Gonsalves y Borwancar, 1998; citados todos por Chiewchan y col., 2005). Está demostrado que al aumentar la presión de homogeneización de 1000 a 5000 lb/pulg<sup>2</sup>, se obtiene un incremento en la estabilidad de la leche como resultado de una homogeneización de 2 etapas: una a 1000 lb/ pulg y otra a 2000 lb/pulg<sup>2</sup>. En contraposición con la homogeneización de un solo paso a alta presión (5000 lb/pulg<sup>2</sup>) se pudo lograr la estabilidad agregando estabilizantes como: Caseinato de Sodio, Lactilato de Esteroil y Carboximetil Celulosa (C.M.C.), acoplada al proceso de homogeneización de 2 etapas (Srigam, 1986 citado por Chiewchan y col., 2005). La goma guar, goma xanthan y el C.M.C. son estabilizantes permitidos para la leche de coco, igualmente los emulsificantes como monolaureato de polioxietilen de sorbitan, triesteato de polioxietilen de sorbitan, entre otros. (CODEX, 2001).

**Estabilidad microbiológica.** La leche de coco no tratada puede descomponerse rápidamente aun bajo condiciones de refrigeración. El tiempo de generación para la multiplicación de bacterias en leche de coco se demostró que disminuía de 232 min. a 10 °C hasta 44 min. a 30 °C. La leche de coco es un medio muy rico, el cual puede mantener el crecimiento de todos los microorganismos más comunes, usualmente introducidos por operarios, utensilios, equipos de procesamiento, etc. Los tipos de bacterias más comunes encontradas incluyen los géneros *Bacillus*, *Acromobacterias*, *Microbacterium*, *Micrococcus* y *Brevibacterium*. También algunos organismos coliformes, mientras que *Penicillium*, *Geotricum*, *Mucor*, *Fusarium* y *Sacharomyces spp.*, parecen ser los hongos predominantes aislados a partir de leche de coco (Mendonça y col., 1987). Estos autores encontraron aerobios mesófilos en niveles de  $1.2 \times 10^6$  -  $1.7 \times 10^8$  U.F.C./mL, lo que podría ocasionar defectos organolépticos dentro de las 6 horas de almacenamiento a 36 °C. Bajo el estándar APCC, los organismos lipolíticos, enterococos y estafilococos coagulasa positiva debieran ser negativos. Los microorganismos mesófilos totales no deben exceder de 50 mil microorganismos por mililitro, por lo menos en 4 de 5 muestras probadas y no debiera de exceder los 100 mil mililitros en las unidades de muestras restantes. *E. coli* no debería ser detectada en 0.1 mililitros en al menos 4 de 5 muestras y no debiera de ser detectada en 0.01 mililitros en las muestras restantes. *Vibrio cholerae* y *Salmonella* deben ser negativas por cada 25 gramos de muestra (Seow y Gwee, 1997).

Mepba y Achinewhum (2003), también coinciden en que la leche de coco y además la carne del coco pelado contienen varios tipos de bacterias, mohos, levaduras, como también coliformes. Entre las bacterias aisladas en la leche están: *Bacillus*, *Micrococcus*, *Lactobacillus*, *Estafilococos* y *Streptococcus*, otros géneros de interés son: *Asperguillus*, *Penicillium*, *Rhizopus*, *Mucor* y *Sacharomyces*. *Bacillus spp* sobrevive en la leche calentada a temperatura de 72°C por 10 min. Similarmente, grupos microbianos fueron igualmente aislados en nueces de coco, leche de coco atomizada y productos de leche de coco de humedad intermedia, donde los coliformes totales, fecales, *E. coli*, *Staphiloccocos*, *Salmonella*, *Bacillus*, *Streptococcus*, mohos y levaduras (Kajs, 1976).

### Usos alimenticios

La leche de coco es un producto empleado como ingrediente en la preparación de múltiples platos (carnes, mariscos), postres (helados, tortas), bebidas (piña colada y cocosoya), entre otros. Se hacen esfuerzos para desarrollar nuevos productos lácteos combinando leche de vaca con leche de coco, de manera de obtener yogurt, queso, bebidas; los cuales parecen tener un buen potencial desde el punto de vista comercial.

### Funcionalidad

El coco es objetado por su alto contenido en ácidos grasos saturados, los cuales se han relacionado con el incremento de las lipoproteínas de baja densidad "LDL" en la sangre. Los ácidos grasos saturados pueden ser responsables de una enfermedad en la pared de las arterias conocida como aterosclerosis (Bosch y col. 1987). Por el contrario, investigaciones como las efectuadas por Nevin y Rajamoha (2004), contradicen esta posición y comentan que debido a que la mayor parte del aceite de coco es extraído de la copra, el cual es un producto secado al sol por largos tiempos de exposición a altas temperaturas y radiación, hasta que la mayor parte de la humedad es removida. Estas condiciones pueden inactivar la mayor parte de los componentes antioxidantes propios como tocoferoles, tocotrienoles y polifenoles; aspecto que no ocurre en el proceso de extracción de grasa a partir de la leche de coco. Los autores demuestran el potencial efecto benéfico del aceite de coco en reducir el nivel lipídico en el suero sanguíneo, tejidos y la oxidación LDL por oxidantes fisiológicos, atribuyendo este comportamiento a los componentes activos polifenólicos presentes en el aceite. Igualmente, Roos y col. (2001), recomiendan el empleo de grasas ricas en ácido láurico provenientes del coco, como sustitutas de ácidos grasos hidrogenados trans, ya que encontraron cocientes inferiores, ventajosos para la salud de los consumidores, de la relación LDL/HDL en los primeros en comparación a los trans.

Recientemente, el Institute of Medicine, National Academies of Science (IOM/NAS) publicó un reporte donde demuestran que los ácidos grasos trans aumentan las lipoproteínas de baja densidad (LDL o colesterol malo), incrementado el riesgo de sufrir ataques al corazón. El reporte del IOM/NAS, recomienda que el consumo de grasas trans sea lo más bajo posible mientras se consuma una dieta nutricionalmente adecuada. Recomendaciones semejantes fueron hechas para grasas saturadas y colesterol (<http://www.cfsan.fda.gov/label.html>). Esta regulación de la FDA sobre ácidos grasos trans suministra información sobre el etiquetado de los alimentos y de las cantidades de ácidos grasos trans, de manera que los consumidores puedan seleccionar los alimentos con bajos niveles de grasas y por consiguiente bajen los niveles de ingesta de éstas como parte de una dieta saludable para el corazón.

La leche de coco ha sido investigada como alimento funcional, ya que aporta monocaprin y monolaurin, los cuales son monoglicéridos del ácido cáprico (C:10) y láurico (C:12) respectivamente. Estos son de tanta importancia actual, que hay varias investigaciones relacionados con el control en bacterias (Unda y col. 1991; Oh y Marshall, 1993;1994;1995; Monk y col. 1996; Oh y Marshall, 1996; Wang y Johnson, 1997; Bergsson y col, 1999; Vasseur y col. 2001; Dufour y col. 2004; Davidson y col. 1994; Preuss y col. 2005, Rouse, 2005).

Existe un Proyecto relacionado con la CDC (Centers for Disease Control) denominado "Proyecto Leche Humana", que persigue aumentar en la ingesta de madres lactantes, productos de coco de manera de incrementar al ácido graso láurico y cáprico, en la leche. Estos dos ácidos aumentan la capacidad antimicrobiana de la leche materna, brindando al infante la protección contra virus como el HIV y herpes, y contra bacterias tales como, *Chlamydia*, *Helicobacter* y protozoarios como *Giardia lamblia*, (<http://www.lauric.org>).

**Monolaurin.** Es un monoglicérido formado a partir del glicerol y el ácido láurico (Koblitz y Pastore, 2005) cuyo nombre comercial es Lauridicina®. El aceite de coco y ciertos productos de coco presentan una composición principalmente ácido láurico. Un aspecto importante de conocer, es si los triglicéridos constituidos principalmente por ácido láurico puedan hidrolizarse en monoglicéridos (monolaurin) durante el metabolismo de las grasas y permanecer bajo esta estructura. No se cuenta con información real de cuanto monolaurin se obtiene de manera endógena a partir del ácido láurico en el cuerpo humano, lo que si se sabe es que algo se forma y posiblemente no debe ser mayor del 3% (Lieberman y col. 2006). Hay múltiples investigaciones efectuadas donde se demuestra el control antimicrobiano del monolaurin (Kabara,1993; Bergsson y col. 1999; Kabara y Marshall, 2004), no así trabajos científicos en parásitos. El mecanismo de control se debe al efecto solubilizador de los lípidos y

fosfolípidos en la membrana del microorganismo causando su desintegración, además del efecto de interferencia en la multiplicación celular (Lieberman y col. 2006).

Es importante acotar, que la cantidad de monolaurin que puede ser empleada en los productos alimenticios, depende más de los cambios sensoriales que de las regulaciones gubernamentales (Kabara, 1993), siendo además considerado como GRASS (Generally Recognized As Safe) por la FDA (Food and Drugs Administration) (Lieberman y col. 2006). La dosis generalmente recomendada en humanos para el control de enfermedades esta en el orden de 1 a 3 g, aunque pueden ser superiores si se requiere resultados clínicos deseables en menores plazos.

### **Investigaciones requeridas**

No cabe duda que la composición fisicoquímica de la leche de coco, con alto contenido acuoso, pH elevado y rico en grasas, representa un reto al tecnólogo de alimentos. Los tratamientos clásicos de aplicación de altas temperaturas influyen negativamente en las propiedades sensoriales; la deshidratación y congelación inducen cambios de autoxidación de las grasas que ameritan ser intensamente investigados. Los métodos emergentes como las altas presiones estáticas y dinámicas, ultrasonido y pulsos eléctricos de alto voltaje, así como antioxidantes naturales, pueden que sean efectivos en mejorar la conservación de leche de coco, aunque deben ser igualmente investigados.

Por otra parte, siendo la grasa de coco la más saturada de las grasas vegetales de manera natural, es posible que sea una alternativa para incrementar el índice de iodo de otros aceites vegetales por procedimientos simples de mezclado, que sustituyan los tan cuestionados procedimientos de hidrogenación, con la consecuente formación de ácidos *trans*. Indudablemente la estabilidad a la autoxidación, evaluada por procedimientos analíticos como índice de iodo, hidroperóxidos, coeficiente de extinción, *p-nisidina*, ácido tiobarbiturico, entre otros, deben ser comprobados, de manera de seleccionar aquellos que demuestren ser los mas adecuados. Otros análisis de tipo sensorial, físicos y hasta microfotográficos, complementarían de manera importante el conocimiento tecnológico de la leche de coco. Paralelamente, la optimización de las variables de procesos, concentración de antioxidantes y estabilizantes naturales, que promuevan mejoras rentables y sensoriales, son sin duda alguna áreas novedosas para investigar.

La demostración científica que relacione que la ingesta de productos de coco transforme el ácido laúrico en monolaurin, además de comprobar el efecto funcional sobre virus (sida) y parásitos, son temas innegablemente de interés.

Las altas presiones es una tecnología muy atractiva para el procesamiento de leche de coco, ya que posee ventajas únicas como la instantánea transmitancia de la presión por todo el sistema, haciéndolo independiente del tamaño y forma del alimento y sus tiempos cortos de procesamiento, ya que no se requieren los tiempos de calentamiento y enfriamiento. Además, reduce la carga microbiana, mejora y crea nuevas texturas, incrementa la retención de agua, usa mas eficientemente la energía, mejora la estabilidad y gelificación de los alimentos (Knorr, 1995; Huppertz, 2001; Moroni, 2002). Las Altas presiones dinámicas (APD) empleando homogeneizadores, tienen como ventajas el permitir procesar considerables cantidades de alimentos por su carácter continuo; por el contrario, la desventaja de este sistema radica en que se aplica únicamente a alimentos líquidos y por otra parte las breves las exposiciones a la presión.

### **Conclusiones**

La leche de coco, de excelentes propiedades sensoriales, de contribución calórica y potencial efecto benéfico, abre nuevas expectativas y oportunidades para el consumo de la población y especialmente aquellas de áreas rurales, donde los infantes y pobladores en general, son propensos a diversas enfermedades; el conocimiento popular pareciera no equivocarse durante décadas, ya que ha recomendado el consumo de coco en personas infectadas con parásitos. Se requiere continuar con una amplia investigación del monolaurin como ingrediente funcional, de manera de conocer adicionales aportes benéficos al consumidor. La aplicación de tecnologías emergentes de conservación como las altas presiones, representan una alternativa viable e interesante para minimizar los cuestionados impactos térmicos en la calidad nutricional y sensorial de la leche de coco.

### **Agradecimientos**

Los autores desean expresar un especial reconocimiento al Proyecto FONACIT G-20000001538 "Desarrollo de alimentos funcionales a partir de frutas, incorporando componentes fisiológicamente activos vitaminas, minerales y microorganismos benéficos" y al cuerpo docente del Departamento de Ingeniería Química y Alimentos de la Universidad de la Américas, por el apoyo recibido.

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Asian and Pacific Coconut Community. 1997. APCC. Codex and Standard for Aqueous Coconut Products. Documento en línea disponible en <http://www.agronegocios.gob.sv/Media/ArticulosNORMAS%20CALIDAD-IICA/Coco/OPS/NORMA%20LECHE%20DE%20COCO,%20OPS.doc>
- Bergsson, G., Steingrímsson, O and Thormar, H.. 1999. In vitro susceptibilities of *Neisseria gonorrhoeae* to fatty acids and monoglycerides. Antimicrobial agents and chemotherapy. Vol. 43. 11. 2790-2792.
- Bosch, V., Camejo, G., Lara Pantin, E y Moya, M.. 1987. Grasas, alimentación y salud. Monte Ávila Editores. Caracas. Venezuela.
- Chiewchan, N; Phungamngoen, C. y Siri wattana, S. 2005. Effect of homogenizing pressure and sterilizing condition on quality of canned high fat coconut milk. Article in press of Journal of Food Engineering. Article in press.
- CODEX, 1999. Programa conjunto FAO/OMS sobre normas alimentarias comisión del Codex Alimentarius. Anteproyecto de Norma para los productos acuosos del coco. Informe de la 20a Reunión del comité coordinador del Codex para Asia.
- CODEX, 2001. Programa conjunto FAO / OMS. Sobre Normas Alimentarias comisión del Codex Alimentarius. Anteproyecto de Norma para los productos acuosos del coco. Informe de 20ª reunión del comité coordinador del Codex Alimentario para Asia. Documento en línea disponible en <http://www.fao.org/docrep/meeting/005/X4285S/x4285s0i.htm>
- Davidson , P.M. Sofos, J.N. and Branen, A.L..2004. Antimicrobials in food. Third Edition. Cap. 11. Kabara, J.J. and Marshall, D.. Medium-Chain fatty acids and esters. Taylor & Francis Ed..
- Dufour, M., Simmonds, R.S. and Bremier, P.J.. 2004. Development of a laboratory scale clean in place system to test the effectiveness of “natural” antimicrobial against dairy biofilms. J. of Food Protection. Vol. 67. No. 7. 1438-1443.
- Flores, W. 2001. Taller de asistencia técnica y capacitación aprovechamiento agroindustrial del coco. Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos (CITA). Universidad de Costa Rica.
- Huppertz, T., Kelly, A. L. and Fox, P.F. 2002. “Effects of high pressure on constituents and properties of milk”. Int. Dairy Journal. 12:561-572.
- Kabara, J. 1993. Medium - chain fatty acids and esters. Cap.8. Antimicrobials in foods. Davidson, P y Branen, A. Editors. Marcel Dekker Inc. New York.
- Kabara, J. and Marshall, D.L. 2004. Medium - chain fatty acids and esters. Cap.11. Antimicrobials in foods. Third edition. Davidson, P., Sofos, J.H. and Branen, A. Editors. Taylor & Francis. New York.
- Kajs, T., Hagenmaier, R., Vanderzant, C. and Mattie, F.. 1976. Microbiological evaluation of coconut and coconut products. J. Food Sci. Vol. 41. 352- 356.
- Knorr, D..1995. Hydrostatic pressure treatment of food: microbiology. En new methods of food preservation. Edited by G.W. Gould. Blackie academic & professional.
- Koblitz, M. and Pastore, G.M.. 2005. Contribution of response surface design to the synthesis of monoacylglycerols catalyzed by *Rhizopus sp.* Lipase J. Food Sci. Vol. 70. No. 8. C 503- C505.
- Lieberman, S., Enig, M., Preuss, H.. 2006. A review of monolaurin and lauric acid. Natural virucidal and bactericidal agents. Alternative & complementary therapies. December.
- Manduca, J. 1973. Características del coco (*Cocos nucifera* L.) cosechado en Venezuela y su aprovechamiento tecnológico. Tesis de Grado. Departamento de Tecnología de los Alimentos. Escuela de Biología. Facultad de Ciencias Universidad Central de Venezuela.
- Mendonça, E., Arraes, G., Frota, L., Gaspar, J., De Oliveira, G. y De Souza M. 1987. Cien. Agron., Fortaleza, 18(2): Pp. 179-186.
- Mepba, H., y Achinewhum, S. 2003. Microbiological and oxidative stability of high temperature processed coconut milk at refrigerated storage. Vol. 15. N°. 1.

- Monk., J.D. Beuchat, L.R. and Hathcox, A.K. 1996. Inhibitory effects of sucrose monolaurate, alone and in combination with organic acids, on *Listeria monocytogenes* and *Staphylococcus aureus*. J. of Applied Bacteriology. 81. 7-18.
- Moroni, O., Jean, J., Autret, J. and Fliss, I. 2002. Inactivation of lactococcal bacteriophages in liquid media using dynamic high pressure. Int. Dairy Journal. 12: 907:913.
- Nevin, K.G. and Rajamohan, T.. 2004. Beneficial effects of virgin coconut oil on lipid parameters and in vitro LDL oxidation. Chemical Biochemistry. 37. 830-835.
- Norma Venezolana COVENIN 1413-79. Alimento para Animales. Harina de Coco. Fondonorma. Caracas. Pp. 1-6.
- Norma Venezolana COVENIN 2185-99. Grasa comestible de Coco. 2da. Revisión. Fondonorma. Caracas. Pp. 1-6.
- Oh, D-H. and Marshall, D.L. 1993. Influence of temperature, pH, and Glycerol monolaurate on growth and survival of *Listeria monocytogenes* J. of Food Protection. Vol. 56. No. 9. 744-749.
- Oh, D-H. and Marshall, D.L. 1994. Enhanced inhibition of *Listeria monocytogenes* by glycerol monolaurate with organic acids.. J. Food Sci. Vol. 59. No. 6. 1258-1261.
- Oh, D-H. and Marshall, D.L. 1995. Destruction of *Listeria monocytogenes* biofilms on stainless steel using monolaurin and heat. J. of Food Protection. Vol. 57. No. 3. 251-255.
- Oh, D-H. and Marshall, D.L. 1996. Monolaurin and acetic acid inactivation of *Listeria monocytogenes* attached to stainless steel. J. of Food Protection. Vol. 59. No. 3. 249-252.
- Ohler, J. G. 1999. Modern *coconut management*. Pal cultivation and products. FAO. Roma. Italy. Pp. 1-198.
- Preuss H.G., Echard, B., Enig, M., Brook, I. And Elliot, T.B. Minimum inhibitory concentrations of herbal essential Oilz and monolaurin for gram-positive and gram-negative bacteria. Mol. Cell. Biochem. 272 (1-2):29-34.
- Rouse, M. Rotger, M., Piper, K., Steckelberg, J., Scholz, M., Andrews, J and Patel, R.. 2005. In vitro and in vivo evaluations of the activities of lauric acid monoester formulations against *Staphylococcus aureus*. Antimicrobial agents and chemotherapy. 3187-3191.
- Seow, C. y Gwee, C. 1997. Coconut milk: Chemistry and Technology. International Journal of Food Science and Technology. 32. 189-201.
- Tangsuphoom, N., and Coupland, J. 2005. Effect of heating and homogenization on the stability of coconut milk emulsions. J. Food Sci. Vol. 70. No. 8. 466-470.
- Tansakul, A., y Chaisawang, P. 2005. Thermophysical properties of coconut milk. Journal of Food Engineering, Vol. 73, No. 3. 276-280.
- Unda, J.R., Molins, R.A. and Walker, H.W.. 1991. *Clostridium sporogenes* and *Listeria monocytogenes*: survival and inhibition in microwave-ready beef roasts containing selected antimicrobials. J. Food Sci. Vol. 56. No. 1. 198 - 205.
- USDA, 2005. Nuts, Coconut milk, canned, raw and frozen (liquid expresses from grated meal and water). National Nutrient Database of Standard Reference., relase 18.
- Vasseur, C., Rigaud, N., Hebraud, M. and Labadie, J.. 2001. Combined effects of NaCl, NaOH, and biocides (monolaurin or lauric acid) on inactivation of *Listeria monocytogenes* and *Pseudomonas spp.* J. of Food Protection. Vol. 64. No. 9. 1442-1445.
- Wang, L-L and Johnson, E.A. 1997. Control of *Listeria monocytogenes* by monoglycerides in foods. J. of Food Protection. Vol. 60. No. 2. 131-138.
- Woodroof, J. 1970. Coconuts: Production, Processing and Products. The Avi. Publ. Co.. Westport. Connecticut. Pp 43 -187.

## EVALUACIÓN DE LA EXACTITUD Y PRECISIÓN DE LOS MÉTODOS M-HIDROXIFENILFENOL Y CARBAZOL APLICADOS EN LA CUANTIFICACIÓN DE SUSTANCIAS PÉCTICAS

*Humberto Barazarte<sup>1</sup>; Tonny García<sup>1</sup>; Luis Duran<sup>1</sup>; Luis Chaparro<sup>1</sup> y Jordy Gamez<sup>2</sup>.*

<sup>1</sup>MSc. (USB, UNELLEZ). Programa de Ingeniería Agroindustrial. Decanato de agronomía, Universidad Centro Occidental Lisandro Alvarado, Apartado 3001. Barquisimeto, Edo. Lara, Venezuela. [tonnygarcia@ucla.edu.ve](mailto:tonnygarcia@ucla.edu.ve)

<sup>2</sup>Ing. Agroindustrial (UNELLEZ). Programa Ciencias del Agro y del Mar. Vicerrectorado de Infraestructura y Procesos Industriales. UNELLEZ-San Carlos, Cojedes, Venezuela 2201.

Recibido: 17-11-2006 / Aceptado: 09-04-2007

### RESUMEN

La exactitud y precisión de los métodos colorimétricos mhidroxifenilfenol y carbazol se evaluó de la siguiente manera: La comparación de las curvas de calibración se realizó a través del coeficiente de correlación de Pearson ( $r$ ), coeficiente de determinación del modelo ( $R^2$ ) y error estándar, los resultados indicaron que las curvas son lineales en el rango de 10 a 60 mg de ácido anhidrouónico/ml. En el estudio de precisión se utilizaron 3 concentraciones estándares de 15, 35 y 55 g de ácido anhidrogacturónico/ml, con 6 repeticiones de cada ensayo, originando coeficientes de variación entre 0,44% y 4,27%. La exactitud se evaluó por medio de una prueba t - student al 95%, comparando los valores de concentración para las soluciones estándares de 15, 35 y 55 g de ácido anhidrogacturónico/ml determinándose que no existe diferencia significativa entre las medidas experimentales y el patrón correspondiente. Se compararon los métodos colorimétricos usando soluciones de pectina comercial a 20 y 40 mg/ml, obteniéndose resultados estadísticamente iguales a un nivel de confianza de 95%. Adicionalmente la influencia de los azúcares sobre las técnicas colorimétricas fue estudiada con una solución de 30 mg de ácido anhidrogacturónico/ml en presencia de fructosa, arabinosa, galactosa y glucosa a 50, 100 y 200 g/ml, resultando interferencia apreciable en cada una de las concentraciones en evaluación.

**Palabras claves:** *Pectina, carbazol, m hidroxifenilfenol.*

## INTRODUCCION

La determinación de pectinas aplicando métodos colorimétricos presenta problemas exactitud y precisión debido a la influencia de diversos factores. Algunos compuestos presentes en el material péctico aumentan el valor de la absorbancia, lo que se traduce en una alteración del contenido de pectinas. La interferencia de los azúcares neutros es uno de los principales problemas de las técnicas espectrofotométricas. Estos compuestos pueden estar libres o ligados a la cadena principal poligalacturónica, así como procedentes de polímeros hemicelulósicos.

La sensibilidad y especificidad del reactivo colorimétrico es otro factor que repercute considerablemente en la exactitud y precisión del método durante la cuantificación de sustancias pécticas a través de técnicas espectrofotométricas.

Un estudio del comportamiento ante diferentes variables de métodos colorimétricos de determinación de pectinas, permitirá establecer si cumplen con un grado de exactitud y precisión satisfactorio. Esto constituye un aporte a futuras investigaciones que requieren de métodos prácticos y confiables.

Es por ello que la presente investigación esta dirigida a evaluar la exactitud y precisión de los métodos m-hidroxifenilfenol y carbazol aplicados en la cuantificación de sustancias pécticas. Para tal fin se compararon las curvas de calibración de los métodos mhidroxifenilfenol y carbazol utilizando solución patrón de ácido galacturónico, además se determinó la exactitud y precisión de ambas técnicas a través de la aplicación de estadística descriptiva. Adicionalmente se realizó una comparación de las dos metodologías mediante la determinación de pectina comercial y por último se estudió la influencia de los azúcares en la respuesta instrumental de cada método en evaluación.

## METODOLOGÍA.

La curva de calibración de los métodos m-hidroxifenilfenol y carbazol fué realizada de la siguiente manera: se pesó 120,5 mg de ácido galacturónico monohidratado (100 mg de ácido anhidrogalacturónico) secado en vacío a 30° C por 5 horas y se transfirió a un balón aforado de 1

L. Se adicionó 0,5 ml de NaOH 1N y se enrazó con agua destilada. Se mezcló y dejó en reposo toda la noche. De esta solución de ácido anhidrogalacturónico (AGA) a concentración de 100 mg/ml se tomaron 10, 20, 30, 40, 50 y 60 ml y se llevó a volumen de 100 ml. Se determinó la absorbancia de cada solución aplicando los métodos del carbazol y m-hidroxifenilfenol.

Nota: AGA = Ácido galacturónico monohidratado  $\times 176/212$

Para la exactitud y precisión se preparó una solución de ácido anhidrogalacturónico (AGA) a 100 mg/ml. De allí se tomaron 15, 35 y 55 ml y fueron colocados en balones aforados de 100 ml, se enrazó con agua destilada, obteniéndose 3 soluciones de AGA a 15, 35 y 55  $\mu\text{g/ml}$ , respectivamente. Se determinó la absorbancia de las 3 soluciones aplicando los métodos del carbazol y mhidroxifenilfenol, realizando 6 repeticiones por cada concentración.

La determinación de pectina se llevó a cabo mezclando 2,0 g de pectina comercial con 200 ml de alcohol etílico al 95%, se dejó en reposo por 30 min para luego filtrar en un papel Whatman N° 1. Se repitió el proceso 2 veces con alcohol etílico al 70%. Se colocó en una estufa al vacío a 30 °C y 25 mmHg por 24 h. Luego fueron llevados 0,1g de esta muestra a un balón aforado de 100 ml y se enrazó con hidróxido de sodio al 0,05 N, dejando en reposo por 30 min. Se tomaron 2 y 4 ml de esta solución de pectina desterificada y libre de azúcares y fueron llevados a balones aforados de 100 ml, se enrazó con agua destilada para obtener dos soluciones de 20 y 40  $\mu\text{g}$  de pectina/ml cada una. Se determinó la absorbancia utilizando los métodos del carbazol y mhidroxifenilfenol con 10 repeticiones por cada solución.

El estudio de la influencia de los azúcares sobre los métodos colorimétricos se prepararon soluciones de 30  $\mu\text{g}$  de AGA/ml en presencia de fructosa, arabinosa, galactosa y glucosa a concentraciones de 50, 100 y 200  $\mu\text{g/ml}$ , se determinó la absorbancia de cada solución por triplicado aplicando los métodos del carbazol y m-hidroxifenilfenol. Además se determinó la absorbancia originada por 3 réplicas de una solución de 30  $\mu\text{g}$  de AGA/ ml.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

### Comparación de las curvas de calibración de los métodos m-hidroxifenilfenol y carbazol.

La curva del método del mhidroxifenilfenol posee un coeficiente de correlación de Pearson (r) de 0,9966, valor que representa alta correlación positiva entre la absorbancia y la concentración aunque en menor escala a la existente en el método del carbazol. El coeficiente de determinación ( $R^2$ ) se ubicó en 99,33%, menor al 99,89% del carbazol, sin embargo es un valor que demuestra que las variaciones en la concentración del ácido galacturónico inciden en los cambios de absorbancia. El valor del error estándar fue de 0,0124, mayor al obtenido con el método del

carbazol (0,0049).

Los resultados anteriores indican que la curva de calibración del método del carbazol presenta un comportamiento lineal semejante al comportamiento de la curva del método del mhidroxifenilfenol.

### **Determinación de la exactitud y precisión con soluciones de ácido anhidrogalacturónico**

En el cuadro 1 se observan los resultados para el análisis de exactitud y precisión aplicado a los métodos m-hidroxifenilfenol y carbazol. La precisión es determinada utilizando el coeficiente de variación, el cual indica la magnitud de la dispersión con respecto a la media. Se puede visualizar que en ambos métodos y a los niveles de concentración en estudio el coeficiente de variación, oscila entre 0,44% y 4,27%.

Asimismo se detalla que a la concentración de 15  $\mu\text{g}/\text{ml}$  se obtienen los valores más altos del coeficiente de variación. También se observa, que a excepción de la concentración de 55  $\mu\text{g}/\text{ml}$ , el método del m-Hidroxifenilfenol presenta menor variación que el método del carbazol. Rodríguez et al. (1992), obtuvieron un coeficiente de variación de 1,91% con el método del m-hidroxifenilfenol cuando utilizaron 100 mg de ácido péctico patrón.

La desviación estándar es de la misma magnitud para ambas metodologías a concentraciones de estudio de 15 y 35  $\mu\text{g}/\text{ml}$ , pero a nivel de 55  $\mu\text{g}/\text{ml}$ , la desviación estándar para el método del mhidroxifenilfenol (0,78) fue el triple a la desviación estándar del método del carbazol (0,24).

La exactitud se determinó utilizando el error relativo y la prueba tstudent para una muestra, con un nivel de confianza de 95%. A través de estas pruebas se compara la media de cada concentración con su respectivo patrón (15, 35 y 55  $\mu\text{g}/\text{ml}$ ). En la prueba tstudent mostrada en el cuadro 1 todos los valores de probabilidad de ocurrencia son mayores a 0,025, indicando que las medidas obtenidas experimentalmente, tanto para el método del carbazol como para el método del m-hidroxifenilfenol no difieren significativamente del patrón correspondiente, en este sentido, se afirma que ambas técnicas poseen la exactitud requerida para un intervalo de confianza del 95%.

Adicionalmente el valor más alto de error relativo obtenido de los niveles de concentración en estudio es de 2,8%, lo que confirma la exactitud de los métodos. West y Skook (1989), indican que para el procedimiento espectrofotométrico el error relativo de las mediciones de concentración se encuentra entre los límites de 1% a 3%.

Resultados semejantes fueron obtenidos por Visciglio y Sanjuán (2000) en soluciones estándares de 5, 30 y 70  $\mu\text{g}/\text{ml}$  de ácido anhidrogalacturónico, donde concluyó que el método del carbazol poseía la exactitud requerida en un nivel de confianza de 95%.

**Cuadro 1.** Valores estimados de ácido anhidrogalacturónico/ml con 6 repeticiones y su comparación con el patrón mediante prueba T-Student.

Repetición	Carbazol			M-Hidroxifenilfenol		
	15 µg/ml	35 µg/ml	55 µg/ml	15 µg/ml	35 µg/ml	55 µg/ml
R1	14,99	35,05	55,10	15,43	34,70	56,31
R2	14,58	35,18	54,96	14,06	34,43	54,93
R3	15,13	34,22	54,83	15,43	34,98	55,07
R4	13,75	34,77	55,38	14,88	34,29	53,97
R5	13,89	34,22	55,10	15,71	35,53	55,62
R6	15,13	35,32	54,69	14,88	34,43	55,07
Media	14,58	34,79	55,01	15,07	34,72	55,16
Desviación estandar	0,62	0,48	0,24	0,59	0,46	0,78
Coefficiente de variación	4,27	1,38	0,44	3,94	1,34	1,41
Error relativo (%)	2,80	0,60	0,18	0,47	0,80	2,30
Valor de t	1,66	1,06	0,10	0,27	1,44	0,51
Probabilidad de ocurrencia	0,158	0,340	0,923	0,799	0,209	0,632

### Determinación de pectina comercial aplicando los métodos m-hidroxifenilfenol y carbazol

El cuadro 2 muestra el resultado de la determinación de pectina comercial utilizando los métodos colorimétricos del carbazol y mhidroxifenilfenol. El coeficiente de variación para las dos metodologías en estudio se encuentra entre 3,05% y 4,47%. La desviación estándar presenta valores en un rango de 0,71 a 1,31. Rodríguez et al (1992) obtuvieron coeficientes de variación de 3,40%, 1,75% y 1,06% con soluciones de 10, 20 y 30 µg de ácido péctico/ml respectivamente.

El valor de probabilidad de ocurrencia fue de 0,032 y 0,532 para 20 y 40 µg/ml respectivamente, superiores al valor de referencia ( $\alpha/2= 0,025$ ), lo que indica que no hay diferencia significativa entre las medias de las dos metodologías en estudio a los niveles de concentración antes mencionados.

**Cuadro 2.** Valores estimados de Pectina/ml con los métodos Carbazol y M-hidroxifenilfenol.

Repetición	Carbazol		M-Hidroxifenilfenol	
	20 µg/ml	40 µg/ml	20 µg/ml	40 µg/ml
R1	19,22	38,68	20,39	37,51
R2	19,35	37,68	8,72	37,51
R3	19,10	38,81	19,26	36,63
R4	18,60	38,18	19,01	38,84
R5	19,72	38,68	20,37	37,51
R6	19,22	37,68	18,64	39,01
R7	19,35	37,44	20,01	36,51
R8	19,47	37,81	21,14	39,01
R9	18,48	37,44	20,26	40,41
R10	17,25	34,24	18,76	37,38
Media	18,98	37,66	19,66	38,00
Desviación Estándar	0,71	1,31	0,88	1,15
Coefficiente de Variación	3,76	3,48	4,47	3,05

**Influencia de los azúcares en la respuesta instrumental de los métodos colorimétricos.**

La prueba de Medias de Dunnett al 95%, mostrada en los cuadros 3, 4, 5 y 6 señala que la diferencia entre el valor de concentración experimental obtenido al adicionar azúcares y el valor patrón supera el límite correspondiente, en base a ello se puede deducir que todos los azúcares en estudio, a niveles de concentración de 50, 100 y 200 µg/ml, producen una interferencia apreciable en ambos métodos colorimétricos.

**Cuadro 3.** Prueba de comparación de medias de Dunnett al 95% en el método del Carbazol para la Arabinosa y Galactosa .

Comparación	Arabinosa			Galactosa		
	Diferencia	Límite		Diferencia	Límite	
0 – 50	10,98	0,55	***	4,66	0,32	***
0 – 100	18,13		***	9,47		***
0 – 200	26,09		***	17,94		***

\*\*\*Diferencia Significativa

**Cuadro 4.** Prueba de comparación de medias de Dunnett al 95% en el método del Carbazol para la Fructosa y Glucosa

Comparación	Fructosa			Glucosa		
	Diferencia	Límite		Diferencia	Límite	
0 – 50	4,62	0,59	***	2,70	1,72	***
0 – 100	16,61		***	17,81		***
0 – 200	30,35		***	26,87		***

\*\*\*Diferencia Significativa

**Cuadro 5.** Prueba de comparación de medias de Dunnett al 95% en el método del m-hidroxifenilfenol para la arabinosa y galactosa.

Comparación	Arabinosa			Galactosa		
	Diferencia	Límite		Diferencia	Límite	
0 – 50	9,69	0,91	***	14,37	0,86	***
0 – 100	16,48		***	20,47		***
0 – 200	24,73		***	23,77		***

\*\*\*Diferencia Significativa

**Cuadro 6.** Prueba de comparación de medias de Dunnett al 95% en el método del m-hidroxifenilfenol para la Fructosa y Glucosa.

Comparación	Fructosa			Glucosa		
	Diferencia	Límite		Diferencia	Límite	
0 – 50	9,88	1,35	***	7,54	1,6	***
0 – 100	21,34		***	11,21		***
0 – 200	34,74		***	16,57		***

\*\*\*Diferencia Significativa

El efecto de los azúcares en el método del carbazol se denota en el cuadro 7 a través del porcentaje de interferencia, valor que indica la relación de la magnitud de la interferencia con respecto a la concentración de la solución patrón. Allí se observa que la fructosa, con un porcentaje de interferencia de 95.67% a 200  $\mu\text{g/ml}$ , muestra el parámetro más alto. A concentración de 50  $\mu\text{g/ml}$ , la glucosa aumenta 8,7%, la lectura del ácido galacturónico. La mayor interferencia a 50  $\mu\text{g/ml}$ , esta representada por la arabinosa con 34,63%. Por su parte la galactosa y fructosa presentan un comportamiento semejante a dicha concentración.

**Cuadro 7.** Porcentaje de interferencia de los azúcares a diferentes concentraciones en el método del Carbazol.

Concentración	Arabinosa	Galactosa	Fructosa	Glucosa
50	34,63%	14,72%	14,72%	8,7%
100	57,14%	29,87%	52,38%	56,28%
200	82,25%	56,71%	95,67%	84,85%

De igual manera, el comportamiento del método del mhidroxifenilfenol, esta representado en el cuadro 8. Semejante a lo ocurrido en el método del carbazol, la fructosa constituye el azúcar que origina mayor interferencia, encontrándose 114,67% a 200  $\mu\text{g}/\text{ml}$ . La galactosa, con 48,89% a 50  $\mu\text{g}/\text{ml}$ , interfiere a mayor escala que los demás azúcares a este nivel de concentración, efecto diferente al mostrado en el método del carbazol, donde solamente aumentó 14,72% el valor de la absorbancia. La arabinosa, fructosa y glucosa produjeron 33,78%, 34,22% y 26,27% de interferencia a esta misma concentración. La glucosa representa el azúcar que afectó en menor proporción el método del m-hidroxifenilfenol.

**Cuadro 8.** Porcentaje de interferencia de los azúcares a diferentes concentraciones en el método del m-hidroxifenilfenol.

Concentración	Arabinosa	Galactosa	Fructosa	Glucosa
50	33,78%	48,89%	34,22%	26,67%
100	55,56%	55,11%	73,78%	38,67%
200	82,22%	79,11%	114,67%	56,00%

El resultado de este estudio no se asemeja al reportado por Mc Comb y Mc Cready (1952). Los autores aplicaron el método del carbazol en presencia de 33,2  $\mu\text{g}$  de ácido anhidrogalacturónico, encontrando poca interferencia con glucosa y fructosa a concentraciones de 100  $\mu\text{g}/\text{ml}$  y ninguna interferencia cuando experimentaron con arabinosa a la misma concentración. Al observar el cuadro 13 se encuentra que la fructosa, arabinosa y glucosa producen 52,38%, 57,14% y 56,28% de interferencia respectivamente en condiciones semejantes a las utilizadas por los autores antes mencionados. Así mismo, se visualiza en dicho cuadro que el efecto de la arabinosa es bastante considerable a concentraciones de 50  $\mu\text{g}/\text{ml}$ , caso contrario al efecto reportado por Mc Comb y Mc Cready (1952), quienes debieron usar 500  $\text{g}/\text{ml}$  de arabinosa para alcanzar solo una escasa interferencia.

Esta diferencia puede originarse de modificaciones realizadas al método del carbazol de Mc Comb y Mc Cready (1952) hecha por Emaldi (1994) y que fueron utilizadas en el método aplicado. La adición de ácido bórico, no contemplada por Mc Comb y Mc Cready, incrementa la producción de compuestos furfúricos, entre ellos los provenientes por hexosas y pentosas, aumentando así la interferencia ocasionada por los azúcares. Scott (1979), encontró incremento en la absorbancia de la glucosa con el método del 3,5 - dimetilfenol cuando adicionó ácido bórico.

Otra modificación importante se observa en el aumento del tiempo y la temperatura de

reposo al mezclar la muestra con el ácido sulfúrico concentrado. El tiempo se incrementa aproximadamente 8 minutos, mientras que la variación de temperatura oscila 8°C. La elevación de temperatura aumenta la velocidad de reacción, aumentando la producción de compuestos furfúricos, tanto provenientes del ácido anhidrogalacturónico como de los azúcares. Un mayor tiempo de reacción incrementa la posibilidad de reacción entre unos compuestos y otros. Scott (1979), manifiesta que los tiempos cortos de reacción disminuyen el color desarrollado por los azúcares, especialmente de la glucosa.

Resultados semejantes fueron los obtenidos por Blumenkrantz y Asboe - Hansen (1973), ellos encontraron interferencia considerable por parte de la glucosa y arabinosa en presencia de ácido glucurónico utilizando el método del carbazol de Dische.

Rodríguez et al (1992), sólo encontraron interferencia de 4,40%, 3,82%, 4,29% y 3,49% en soluciones de 2 mg/ml de glucosa, manosa, xilosa y arabinosa, respectivamente con el método del m-hidroxifenilfenol, resultado diferente al obtenido en el estudio actual. La causa principal se atribuye al uso de un blanco muestra por parte de estos autores, si bien, en la técnica utilizada por Rodríguez et al., (1992) no se detalla esta actividad, la poca interferencia mostrada por los azúcares a esta alta concentración solo puede eliminarse de esta forma. Carbonell et al. (1989), obtuvieron lecturas de absorbancia de 0,446 y 0,870 para dos (2) mezclas (1:1) de glucosa y fructosa a concentraciones 1 y 2 mg/ml respectivamente. El valor del blanco muestra resultó 0,347 para la concentración de 1 mg/ml y 0,639 para la concentración de 2 mg/ml, lo que origina que la diferencia de absorbancia entre ambos sea 0,099 y 0,231, eliminando enormemente el efecto de interferencia.

Blumenkrantz y Asboe - Hansen (1973), tampoco encontraron interferencia considerable al determinar ácido glucurónico en presencia de arabinosa y glucosa. Ellos utilizaron el blanco muestra para realizar las lecturas de absorbancia.

Cabe destacar que en el método del m-hidroxifenilfenol desarrollado en el estudio actual no se utilizó el blanco muestra, en concordancia con De Giorgi et al (1985), citado por Carbonell et al. (1989).

## CONCLUSIONES

1. La evaluación de la exactitud y precisión de los métodos colorimétricos m-hidroxifenilfenol y carbazol permitió concluir:
2. Las curvas de calibración de los dos métodos son lineales en el rango de concentración de 10 a 60 µg de ácido. anhidrogalacturónico/ml.
3. Los métodos colorimétricos m-hidroxifenilfenol y carbazol presentan una precisión

expresada como coeficiente de variación entre 0,44% y 4,27% en el rango de concentración de 10 a 60  $\mu\text{g}$  de ácido anhidrogalacturónico/ml.

4. Los métodos colorimétricos mhidroxifenilfenol y carbazol, en el rango de concentración de 10 a 60  $\mu\text{g}$  de ácido anhidrogalacturónico/ml, poseen 95% de probabilidad de originar resultados que no difieran significativamente del valor real.
5. La determinación de pectina comercial aplicando el método del carbazol posee un 95% de probabilidad de originar resultados que no difieran estadísticamente con los valores obtenidos de la aplicación del método del m-hidroxifenilfenol utilizando soluciones de 20 y 40  $\mu\text{g}$  de pectina/ml.
6. Los azúcares neutros en niveles iguales o mayores a 50  $\mu\text{g}/\text{ml}$  interfirieron significativamente en la respuesta instrumental de los métodos colorimétricos m-hidroxifenilfenol y carbazol en presencia de 30  $\mu\text{g}$  de ácido anhidrogalacturónico/ml.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BLUMENKRANTZ, N and ASBOE HANSEN, G. (1973). New Method for Quantitative Determination of Uronic Acids. *Analytical Biochemistry*. No 54. pp 484 - 489.
- CARBONELL, E., COSTELL, E. and DURAN, L. (1989). Evaluation of Various Methods for Measurement of Pectin Content in Jam. *J. Assoc off. Anal. Chem.* Vol. 72, No 4. pp 689 - 693.
- EMALDI, U. (1994). Evaluación de la Calidad de Frutos Procedentes de Plantas de Mangos (*Mangifera indica* L) obtenidas mediante injertos de patrones criollos (Bocado, Hilacha y Manga) con copas de la variedad Haden. Tesis de Grado, Maestría. Facultad de Ciencias Universidad Central de Venezuela.
- MC COMB, E. A. and MC CREADY, R. M. (1952). Colorimetric Determination of Pectin Substances. *Analytical Chemistry*. Vol. 24, N° 10. pp 1630 - 1632.
- RODRIGUEZ, M., REDONDO A. y VILLANUEVA, M. J. (1992). Estudio Comparativo de los métodos de H-Hidroxifenilfenol y 3,5 dimetilfenol para determinar sustancias Pécicas en Nabo (*Bassica napus*). *Alimentaria*. N° 79 pp 79 - 82.
- VISCIGLIO, S.B. y SANJUAN, N. (2000). Determinación del Contenido de Pectinas en Cáscara de Frutas Cítricas: Modificación y Optimización del Método del Carbazol. *Series de Ciencia e Ingeniería de Alimentos*. Vol. II. pp 719 - 733.
- SCOTT, R. W. (1979). Colorimetric Determination of Hexuronic Acids in Plant Materials. *Analytical Chemistry*. Vol. 51, N° 7. pp. 936 - 941.
- SKOOK, D. A. Y WEST, D. M. (1989). *Análisis Instrumental*. McGrawHill/Interamericana de México, S.A. DE C.V. México.

**OBTENCIÓN DE UN PRODUCTO LÍQUIDO MEDIANTE HIDRÓLISIS  
ENZIMÁTICA DEL ALMIDÓN DE SULÚ (*Maranta arundinaceae* L.)**

**GETTING OF A LIQUID PRODUCT BY ENZYMATIC HYDROLYSIS OF SULÚ STARCH  
(*Maranta arundinaceae* L.)**

*Piñero, J., Montaña, G. y Cubas, L.*

Universidad Nacional Experimental "Simón Rodríguez". Ingeniería de Alimentos.  
Núcleo Canoabo. Laboratorio de Bioprocesos. Canoabo Edo. Carabobo, Venezuela.  
Telefax: 0249-7934795, Cel. 0416-2411006, e-mail: [unesrcanoabo@gmail.com](mailto:unesrcanoabo@gmail.com)

Recibido: 15-12-2006 / Aceptado: 07-06-2007

**RESUMEN**

Se obtuvo un producto líquido parcialmente hidrolizado mediante procesos enzimáticos de licuefacción y sacarificación del almidón de sulú (*Maranta arundinacea* L.). La composición bromatológica de la harina dio un bajo contenido de grasa (0,20) 0,02%), proteínas (0,53) 0,02%) y fibra (0,11) 0,03%), lo cual favorece la hidrólisis enzimática del almidón. Se evaluaron cuatro variables enzimáticas, empleando las condiciones de pH y temperatura óptimas de las enzimas especificadas por la casa comercial: **1)** Efecto de la concentración de la enzima -amilasa (Termamyl 120L) (0,05, 0,10 y 0,20%) sobre la licuefacción de una suspensión de almidón al 30% (p/v). **2)** Efecto de la concentración de almidón (10, 20, 30 y 40% (p/v)) sobre la licuefacción con Termamyl al 0,2%. **3)** Efecto de la concentración de la mezcla enzimática comercial SAN Super 240L (0,024, 0,048, 0,12 y 0,24%) sobre la sacarificación de almidón al 40% licuado con Termamyl (0,2%). **4)** Efecto del tiempo de sacarificación con SAN Super en el cual se evaluaron dos tratamientos enzimáticos (0,12 y 0,24%) a 30, 60, 90, 120, 150 y 180 minutos. Cada tratamiento se realizó por triplicado, los valores se sometieron a un análisis de varianza en caso de diferencias significativas se aplicó la prueba de Tuckey de comparación de medias. Con la concentración de 0,2% de Termamyl se obtuvo la mayor producción de azúcares reductores (6,09%) y sólidos solubles (16,4° Brix); se observó mayor conversión a azúcares reductores (9,85%) y sólidos solubles (27,7%) en la suspensión de almidón al 40%; el mayor grado de sacarificación se logró con 0,24% de SAN Super y 150 minutos (20,15% azúcares reductores y 28°Brix). El contenido de sólidos solubles no es directamente proporcional a la cantidad de azúcares reductores. El producto obtenido con 90 min. de sacarificación contenía 14% de almidón residual, 11,68% de glucosa, 16,45% de azúcares reductores y 28°Brix.

**Palabras clave:** *Maranta arundinacea*, sulú, almidón, liquefaction, saccharification

## SUMMARY

It was obtained a liquid product by a partial hydrolysis with liquefaction and saccharification process from sulú starch (*Maranta arundinacea* L.). The bromatological composition showed a low content of the fat ((0.20 ) 0.02%), proteins (0.53 ) 0.02%) and fibre (0.11) 0.03%), which help the enzymatic starch-hydrolysis. It was evaluated four enzymatic variables at standard pH and temperature conditions: **1)** -amylase concentration effect (commercial enzyme Termamyl 120L, 0.05, 0.10 and 0.20 % (p/v)) at 30% (p/v) starch concentration. **2)** Starch concentration effect (10, 20, 30 and 40% (p/v)) over liquefaction with 0.2% Termamyl **3)** SAN Super 240L concentration effect over 40% liquefied starch-saccharification with four treatments (0.024, 0.048, 0.12 and 0.24%). **4)** Time saccharification effect with 0.12 and 0.24% SAN Super at 30, 60, 90, 120, 150 and 180 min. Each treatment was carried out three times, it was applied an analysis of variance and a test of Tuckey for comparison of means. 0.2% Termamyl gave the great reducing sugars production (6.0%) and soluble solids (16.4 °Brix); it was observed major conversion into reducing sugars (9.85%) and soluble solids (27.7%) on 40% starch; the major saccharification degree was reached with 0.24% SAN Super and 150 min. The content of soluble solids is not proportional to the amount of reducing sugars. The product obtained with 90 min. of saccharification had 14% residual starch, 11.68% glucose, 16.4% reducing sugars and 28 °Brix.

**Key words:** *Maranta arundinacea*, arrowroot, starch, liquefaction, saccharification

## INTRODUCCIÓN

El almidón es uno de los polisacáridos naturales de origen vegetal, más abundante y disponible que existe en la naturaleza. Además, el almidón constituye la principal fuente alimenticia proveniente de rubros de alto consumo como los cereales, tubérculos y raíces, por lo que se justifica cualquier alternativa conducente a aumentar su valor agregado mejorando sus propiedades funcionales y nutricionales. Tiene variadas aplicaciones tanto en su estado nativo como en su forma modificada mediante tratamientos enzimáticos. El uso regular del almidón en su forma natural con aplicaciones en la industria alimentaria, está limitado por sus propiedades fisicoquímicas, requiriendo modificaciones previas a su utilización y entre los métodos más utilizados por sus ventajas en la calidad de los productos obtenidos está la hidrólisis enzimática (Wurzburg, 1995). Dependiendo, de las condiciones y del grado de hidrólisis, los productos derivados varían en composición y propiedades funcionales y de estas características dependerá también su aplicación. Generalmente, los hidrolizados de almidón son destinados a la producción de maltodextrinas, jarabes glucosados y fructosados, y macerados destinados a la fermentación alcohólica.

En Venezuela existen fuentes de almidón de producción y consumo local cuyo potencial también puede ser explotado, buscando alternativas que aumenten el valor agregado de sus rubros agrícolas. Este es el caso del rizoma de sulú (*Maranta arundinacea* L.), cultivado y utilizado en el oriente de Venezuela para la elaboración artesanal de alimentos para ancianos y niños debido a sus propiedades digestivas, nutricionales y funcionales, razón por la cual es considerada una planta medicinal. Esta planta recibe varios nombres según su origen, jamachipeque en Bolivia, sagú en Colombia, Ecuador y Panamá, arrurruz en Chile y las Antillas (Bernal y Correa, 1994). Se cultiva en los trópicos por sus rizomas del cual se extrae el almidón de buena calidad, sin embargo, la edad de la planta influye en la composición fisicoquímica de los rizomas y del almidón extraído de ellos, en la distribución de tamaños de los gránulos de almidón y en las propiedades de la pasta, siendo favorable la cosecha de los rizomas en plantas

que tienen entre 12 y 14 meses (Ferrari *et al.*, 2005). Debido a la composición química y propiedades funcionales y reológicas del almidón, representa una alternativa para el desarrollo de productos alimenticios (Pérez y Lares, 2005). Con la finalidad de evaluar el potencial del almidón de sulú, para la elaboración de nuevos productos alimenticios o su incorporación a otros alimentos, la harina fue sometida a procesos de hidrólisis enzimática bajo diferentes condiciones de licuefacción y sacarificación para la obtención de un producto líquido.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Análisis bromatológico.** La harina de sulú procesada artesanalmente se adquirió en Güiria, Estado Sucre. Se le determinó el contenido de humedad, grasa, proteína cruda, fibra cruda y cenizas utilizando los métodos de las Normas COVENIN (1979, 1980). El contenido de almidón, calcio y fósforo se cuantificó mediante métodos de la AOAC (1984, 2000).

**Evaluación reológica.** Se determinó el perfil amilográfico de la harina de sulú en el Laboratorio del Departamento de Nuevos Productos de la Empresa REMAVENCA, ubicada en Turmero Estado Aragua, empleando un equipo "Rapid Visco Analyzer" (RVA), marca Newport Scientific, modelo 3D.

**Análisis microbiológico.** A la harina de sulú se le realizaron pruebas de aerobios mesófilos, hongos y levaduras; al producto terminado se le hicieron pruebas de recuento de esporas de termófilos tipo "flat sour", esporas de anaerobios termófilos productores de H<sub>2</sub>S, esporas de anaerobios termófilos no productores de H<sub>2</sub>S, hongos y levaduras (García, 1990).

**Enzimas utilizadas.** Para la licuefacción del almidón se empleó el producto comercial Termamyl 120L; la sacarificación se realizó con la mezcla comercial SAN Super 240L. Ambos productos son de la casa Novozymes (Bagsvaerd, Dinamarca).

**Determinaciones analíticas.** El grado de hidrólisis en cada tratamiento se evaluó determinando el porcentaje de azúcares reductores (Lees, 1982) y de sólidos solubles (°Brix) (COVENIN, 1983).

**Efecto de la concentración de enzimas en la licuefacción.** Se evaluaron tres tratamientos consistentes en tres concentraciones diferentes de Termamyl, 0.05, 0.1 y 0.2% (p/p), cada una por triplicado, utilizando una suspensión de almidón al 30% en agua destilada, a la cual se

ajustó el pH a 6,5. La suspensión de almidón se llevó a la temperatura de gelatinización (74,2 °C) a la cual se adicionó la enzima incubando durante 20 minutos. Posteriormente, la temperatura se aumentó hasta que la suspensión alcanzó 93 °C incubando durante 1 h.

**Efecto de la concentración de almidón en la licuefacción.** Se evaluaron cuatro tratamientos, cada uno por triplicado, preparando suspensiones de almidón al 10, 20, 30 y 40% con pH ajustado a 6,5. Estas suspensiones se incubaron a 60 °C con la concentración de Termamyl que produjo mayor cantidad de azúcares reductores, subiendo inmediatamente la temperatura al valor de gelatinización manteniéndola durante 20 min., al cabo de los cuales se aumentó nuevamente a 93 °C, incubando durante 1 h.

**Efecto de la concentración de enzima en la sacarificación.** Se evaluaron cuatro tratamientos cada uno por triplicado: 0.024, 0.048, 0.12 y 0.24% (v/v) de SAN Super, para sacarificar la suspensión de almidón licuado que dio mejores resultados en el ensayo anterior. A cada suspensión se le ajustó previamente el pH a 5,0 y se llevó a 55 °C, temperatura a la cual se le adicionó la enzima e incubó durante 1 h (Novozymes, 2002; Atkerberg et al., 2000).

**Efecto del tiempo de sacarificación.** Se tomó el producto licuado que dio mayor porcentaje de azúcares reductores para evaluar el efecto del tiempo de sacarificación con dos concentraciones de SAN Super (0,12 y 0,24%). Los tiempos empleados fueron 30, 60, 90, 120, 150 y 180 min., con tres réplicas cada uno. Se incubó bajo las condiciones de sacarificación señaladas anteriormente para luego determinar el contenido de azúcares reductores y sólidos solubles.

**Análisis fisicoquímico del producto obtenido.** Al producto terminado se le determinó la cantidad de almidón residual (McCready *et al.*, 1950), glucosa (Trinder, 1969), azúcares reductores (Lees, 1982) y sólidos solubles (COVENIN, 1983); la viscosidad se midió utilizando un viscosímetro Rheotest 2 y la densidad mediante picnometría.

**Análisis estadístico.** Cada tratamiento se evaluó por triplicado. Los resultados en cada uno basados en el contenido de azúcares reductores y sólidos solubles, se promediaron y se sometieron a un análisis de varianza con un 95% de confiabilidad para determinar su significancia; a los resultados con diferencias significativas se les aplicó una prueba de comparación de medias basada en la prueba de Tuckey, empleando el programa estadístico SPSS versión 10, para determinar cuál fue el mejor de los tratamientos.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Composición química de la materia prima. Se observa un bajo contenido de grasa, fibra y proteína, lo que favorece la hidrólisis enzimática al no ejercer efectos inhibitorios. Adicionalmente, el bajo contenido en grasas permite mantener la estabilidad de la harina en cuanto a enranciamiento, reacciones y/o interacción con otros componentes como el almidón que al formar complejos limita su cuantificación y disponibilidad (Flores y Romero, 1998). El calcio es un elemento estabilizador de la estructura de la  $\alpha$ -amilasa (Novo Nordisk, 1995) (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Composición bromatológica en base húmeda de la harina de sulú

Componentes	Contenido (%)
Humedad	8,83 $\pm$ 0,08
Grasa	0,20 $\pm$ 0,02
Fibra cruda	0,11 $\pm$ 0,03
Proteína cruda	0,53 $\pm$ 0,02
Ceniza	0,06 $\pm$ 0,01
*Almidón	77,80
*Calcio	0,02
*Fósforo	0,04

**Perfil amilográfico.** En el Cuadro 2 y Fig. 1 se presentan las características reológicas y el perfil amilográfico, respectivamente, de la harina de sulú.

**Cuadro 2.** Características reológicas de la harina de sulú.

Parámetro	Resultados
Viscosidad a 60 °C	0
Temperatura inicial de gelatinización	74,2
Pico de viscosidad máxima (A)	666
Temperatura final de gelatinización	95
Calentamiento, viscosidad inicial 95 °C	501
Viscosidad final sostenida 95 °C (B)	298
Enfriamiento, viscosidad inicial 50 °C	334
Viscosidad final sostenida 48 °C (C)	308
Fragilidad de los almidones (A-B)	368
Retrogradación (A-C)	35

Viscosidad expresada en RUV (rapid visco unity) Temperatura expresada en °C

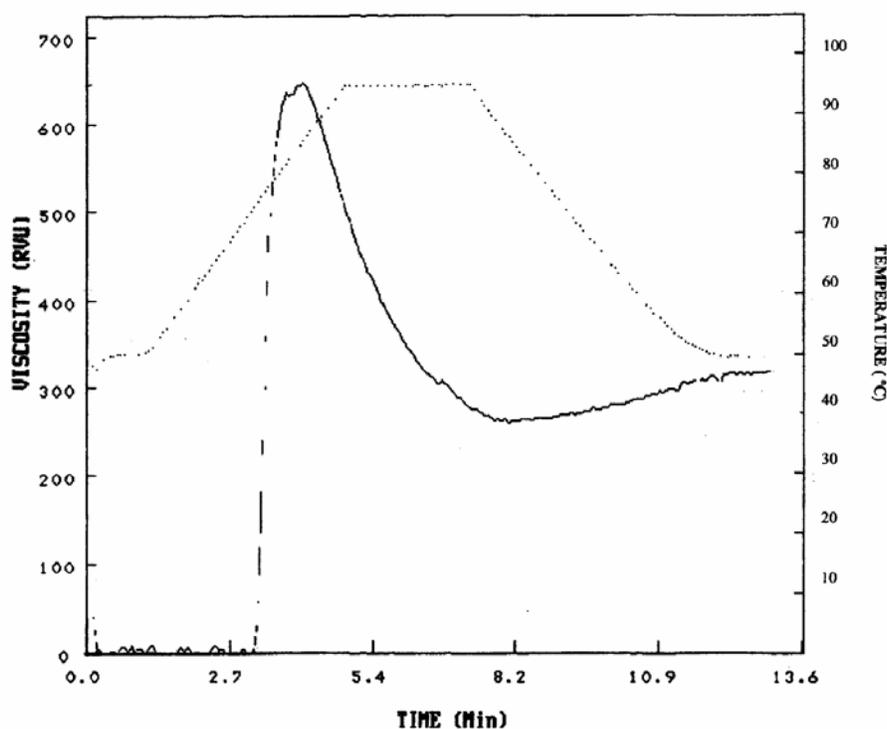
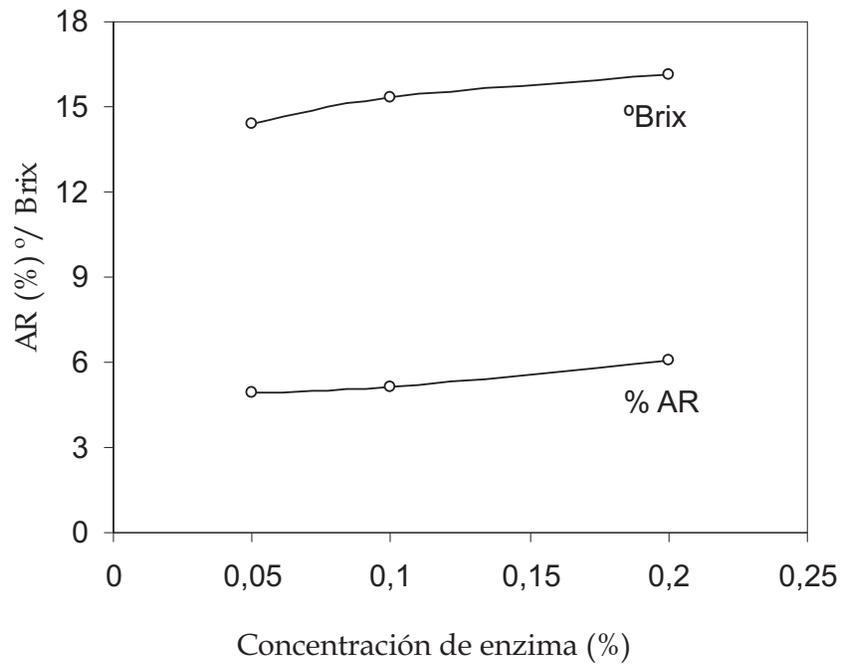


Figura 1. Perfil amilográfico de la harina de sulú

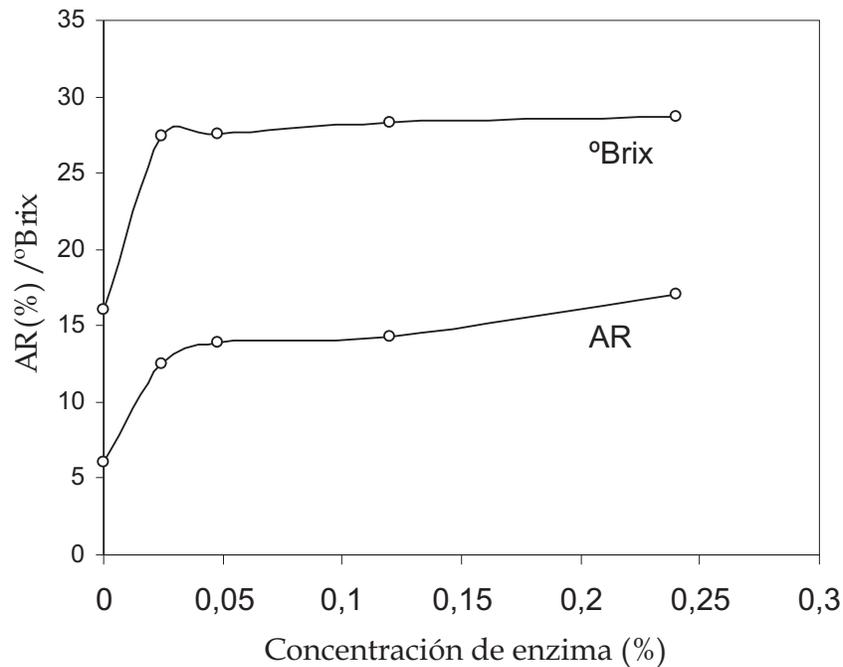
**Efecto de la concentración de enzimas.** A medida que aumenta la concentración enzimática se obtiene mayor grado de hidrólisis lo que se refleja en el aumento del contenido de azúcares reductores, encontrándose diferencias significativas en los resultados, siendo mejor la concentración al 0,2% de Termamyl y 0,24% de SAN Super (Fig. 2 y 3).

**Efecto de la concentración de almidón.** Fue más alta la conversión a azúcares reductores y sólidos solubles en la suspensión al 40% con diferencias significativas con respecto a las otras tres concentraciones (Fig.4). Aschengreen *et al.* (1979) señalan que las altas concentraciones de las materias amiláceas pueden producir un aumento en la estabilidad del Termamyl. Esto pudiera estar relacionado con un aumento en el contenido de calcio de la materia prima el cual influye en la estabilidad de la  $\alpha$ -amilasa (Novo Nordisk, 1995).

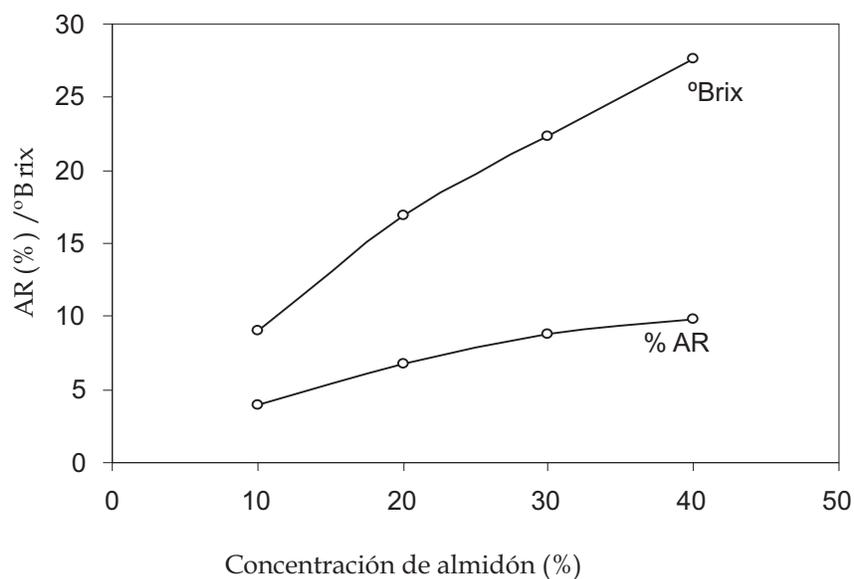
**Efecto del tiempo de sacarificación.** El incremento en el porcentaje de azúcares reductores fue mayor en la concentración de 0,24%, no existiendo diferencias significativas entre 150 y 180 min, ni entre 90 y 120 min (Fig.5).



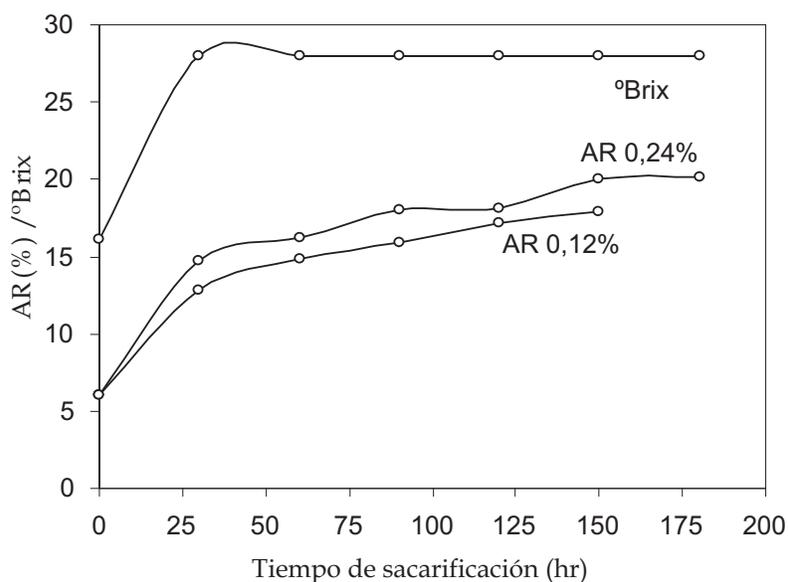
**Figura 2.** Efecto de la concentración de Termamyl sobre la licuefacción del almidón al 30 % (AR = azúcares reductores)



**Figura 3.** Efecto de la concentración de SAN Super sobre la sacarificación del almidón al 40 % licuado con Termamyl al 0,2%



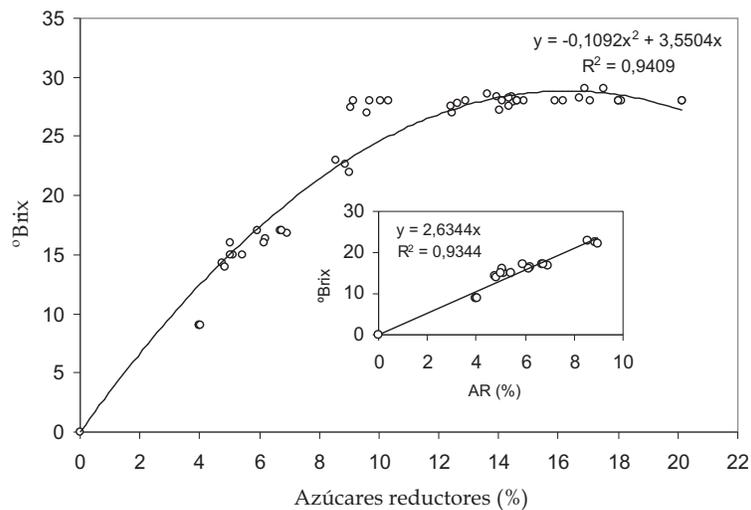
**Figura 4.** Efecto de la concentración de almidón sobre la licuefacción con una concentración de Termamyl al 0,2%



**Figura 5.** Efecto del tiempo de sacarificación del almidón al 40 % licuado con Termamyl al 0,2 %.

Tomando en consideración que los tratamientos de sacarificación intensos tales como altas temperaturas, durante tiempos prolongados, pueden favorecer la polimerización de la glucosa a otros tipos de azúcares no convenientes para las propiedades deseadas en este tipo de productos, se decidió elegir una concentración de San Super al 0,24% para la sacarificación durante 90 min.

**Relación entre contenido de azúcares reductores y sólidos solubles.** Con la finalidad de sustituir el análisis de azúcares reductores por el de los sólidos solubles, buscando una medida más rápida que involucre menor consumo en reactivos y pudiera servir como indicador del grado de hidrólisis enzimática del almidón de sulú, se realizaron varias determinaciones de la relación entre estas dos variables. Los resultados se muestran en la Fig. 6. Como se puede observar la relación es lineal hasta los 23 °Brix correspondiéndose principalmente con diferentes ensayos del proceso de licuefacción del almidón; el contenido de sólidos solubles tiende a mantenerse constante a partir de los 25 °Brix, es decir, se vuelve independiente de la cantidad de azúcares reductores cuando se sacarifica el almidón. Alvarado (2001) señala para el caso de jugos, mermeladas y otros derivados de frutas, que cuando la concentración de los azúcares en la solución es baja hasta un 25%, las ecuaciones lineales son satisfactorias para describir la relación entre el contenido de azúcares y el índice de refracción. Para soluciones de compuestos edulcorantes también se puede aplicar la relación lineal. De esta forma, el uso de medidas del índice de refracción proporciona un método práctico y simple para la determinación de la concentración de soluciones de esta naturaleza. Sin embargo, en este estudio no es aplicable para medir el grado hidrólisis del almidón de sulú, principalmente cuando se desea evaluar la sacarificación, requiriéndose la cuantificación de azúcares por otros métodos como el de Fehling utilizado en este caso.



**Figura 6.** Variación del contenido de sólidos solubles en función de la cantidad de azúcares reductores producidos durante la hidrólisis enzimática de almidón de sulú.

**Composición del producto terminado.** La composición del producto obtenido de la harina de sulú (Cuadro 3), sugiere que puede ser utilizado como materia prima destinada a la fermentación alcohólica, por su contenido en azúcares fermentables y sólidos solubles que

mediante dilución puede alcanzar la cantidad requerida para especies tales como *Saccharomyces cerevisiae*. De hecho el producto SAN Super es utilizado con esta finalidad, durante la maceración de materias amiláceas licuadas destinadas a la fermentación alcohólica (Novozymes, 2002).

**Cuadro 3.** Características fisicoquímicas del producto obtenido

ANÁLISIS	RESULTADOS
Azúcares reductores	16,45 ± 0,18 %
Sólidos solubles	28 ± 0,0 °Brix
*Glucosa	11,68%
*Almidón	14%
*Viscosidad	2220 cp
*Densidad	1,12 g/ml

\*Valores correspondientes a una sola determinación, el resto es el promedio de tres repeticiones

**Calidad microbiológica del producto terminado.** La carga microbiana en la materia prima es alta comparada con aquella encontrada en el producto obtenido, esto es debido a la manipulación artesanal durante la elaboración de la harina (Cuadro 4). El tratamiento térmico al cual fue sometida la harina durante los procesos enzimáticos redujo esta carga microbiana lo que afecta principalmente a los microorganismos mesófilos. Además, el alto contenido de azúcares hace más estable el producto, inhibiendo los organismos termófilos y no osmófilos. Microbiológicamente el producto es apto para el consumo.

**Cuadro 4.** Análisis microbiológico de la materia prima y el producto obtenido

Análisis	Recuento microbiano	
	Materia prima UFC/g	Producto obtenido UFC/ml
Hongos	1,3 x 10 <sup>2</sup>	9,50
Levaduras	1,4 x 10 <sup>3</sup>	< 10
Aerobios mesófilos	5,4 x 10 <sup>2</sup>	
Esporas de termófilos (“flat sour”)		Ausentes
Esporas de anaerobios termófilos no productores de H <sub>2</sub> S		Ausentes
Esporas de anaerobios termófilos productores de H <sub>2</sub> S		Ausentes

## CONCLUSIONES

Estos resultados representan estudios preliminares para conocer el potencial de la tecnología enzimática en la modificación de almidones de sulú para la obtención de productos alimenticios, incluidas las bebidas fermentadas. La composición química obtenida del producto sugiere una potencial aplicación en las fermentaciones alcohólicas, bajo las condiciones óptimas alcanzadas en este estudio: 0,2% (p/v) de Termamyl, 40% de almidón, 0,24% de SAN Super y 90 minutos de sacarificación. El porcentaje de azúcares reductores es una medida más confiable para determinar el grado de hidrólisis que el contenido de sólidos solubles, debido a que no existe entre ellos una relación lineal. Este estudio representa un aporte importante dentro de los programas de promoción de los cultivos regionales (recursos autóctonos) con propiedades nutricionales y/o medicinales.

## AGRADECIMIENTO

Este trabajo fue realizado con la colaboración del personal docente y técnico de los Laboratorios de Microbiología y Análisis Instrumental, y Planta Piloto de Ingeniería de Alimentos del Núcleo Canoabo de la Universidad Nacional Experimental "Simón Rodríguez", quienes permitieron el uso de algunos de sus equipos e insumos para el análisis fisicoquímico y microbiológico. En el Laboratorio del Departamento de Nuevos Productos de la Empresa REMAVENCA se realizaron los análisis para la determinación de las propiedades reológicas de la materia prima. La Empresa Behrens de Venezuela donó los productos enzimáticos empleados en esta investigación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarado, J. 2000. Índice de refracción. En Alvarado, J. y Aguilera, J. (Eds.). *Métodos para Medir Propiedades Físicas en Industrias de Alimentos*. Editorial Acibia, S.A., Zaragoza, España. Pp. 347-366.
- Aschengreen, N., Helwiig, B., Rosendal, P. Ostergaard, J. 1979. Liquefaction, Saccharification and isomerization of starches from sources other than maize. *Starch/Stärke*. 31:64-66.
- Association of Official Analytical Chemists (A.O.A.C). 1984. Análisis de azúcares. No.8019.
- Atkerberg, C., Zacchi, G., Torto, N., Gorton, L. 2000. A kinetic model for enzymatic wheat starch saccharification. *J. Chem. Technol. Biotechnol.* 75:306-314.
- Bernal M., H. Y., Correa Q., J. E. 1994. Especies vegetales promisorias de los países del Convenio Andrés Bello. Programa de Recursos Vegetales del Convenio Andrés Bello (PREVECAB). Cooperación del Ministerio de Educación y Ciencias (España) y Corporación Andina de Fomento (CAF), Santa Fe de Bogotá, D. C. Colombia. Tomo X.
- Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN). 1979. Análisis de Alimentos. no. 1155, 1156, 1162, 1194.

- Ministerio de Fomento. Caracas. Venezuela.
- Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN). 1980. Determinación de nitrógeno. Método Kjeldahl. No. 1195. Ministerio de Fomento. Caracas. Venezuela
- Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN). 1983. Determinación de sólidos solubles por refractometría (°Brix). No. 924. Ministerio de Fomento. Caracas. Venezuela.
- Ferrari, T. B., Leonel, M., Sarmiento, B. S. 2005. Características dos rizomas e do amido de araruta (*Maranta arundinacea*) em diferentes estádios de desenvolvimento da planta.. *Braz. J. Food Technol.* 8(2):93-98.
- Flores, V., Romero, A. 1998. Obtención de Maltodextrinas y Material Glucosado a Partir de Afrecho de Arroz (*Oryza sativa* L.). Trabajo Especial de Grado. Universidad Nacional Experimental Simón Rodríguez. Núcleo Canoabo. Valencia. Edo. Carabobo.
- García R., C. E. 1990. Análisis Microbiológico de Alimentos. 2º ed. Editorial Ciencia 3 Distribución, S.A. Madrid, España.
- Lees, R. 1982. Análisis de los Alimentos: Métodos Analíticos y de Control de Calidad. 2º ed. Ed. Acribia, S.A. Zaragoza, España.
- McCready, R., Guggols, J., Silveira, J., Owens, H. 1959. Determination of starch and amylose in vegetable. *Anal. Chem.* 22(9):1156-1158.
- Novo Nordisk. 1995. Termamyl. Ficha técnica. Bagsvaerd, Dinamarca.
- Novozymes. 2002. SAN Super 240L. Ficha técnica. Bagsvaerd, Dinamarca.
- Pérez, E., Lares, M. 2005. Chemical Composition, mineral profile, and functional properties of Canna (*Canna edulis*) and arrowroot (*Maranta spp.*) starches. *Plants Foods for Human Nutrition.* 60(3):113-116.
- Trinder, P. 1969. Methods of enzymatic analysis. *Ann. Clin. Biochem.* 6:24.
- Wurzburg, O. B. 1995. Modified starches. In: Alistair M. Stephen. *Food Polysaccharides and their Applications.* New York, Marcel Dekker, Inc. pp.67-97.



**VALOR NUTRITIVO DEL BLEDO (*Amaranthus spp*) IDENTIFICADO EN EL MUNICIPIO MORÁN, ESTADO LARA****NUTRITIOUS VALUE OF THE BLEDO (*Amaranthus spp*) IDENTIFIED IN THE MUNICIPALITY MORA'N, STATE LARA**

*Iria Acevedo*<sup>1</sup>, *Oscar Garcia*<sup>1</sup>, *Ingrid Acevedo*<sup>2</sup>, y *Carmen Perdomo*<sup>2</sup>

<sup>1</sup>MSc. Profesor adscrito al Programa de Ingeniería Agroindustrial de la UCLA. Barquisimeto, Venezuela. E-mail: *aceviria@yahoo.com* y *o\_garcia06@yahoo.com*

<sup>2</sup>MSc. Profesor adscrito al Programa de Medicina Veterinaria de la UCLA  
E-mail: *ingridacevedo@ucla.edu.ve* y *Carmenperdomo@ucla.edu.ve*

Recibido: 15-12-2006 / Aceptado: 07-06-2007

**RESUMEN**

El Bledo (*Amaranthus spp*) es una maleza que crece libremente y compite en igualdad de condiciones con los cultivos tradicionales pueden tener potencial alimenticio, razón por la cual en esta investigación se planteó como objetivo determinar el valor nutritivo por estructuras de las especies de *Amaranthus spp*) mas abundantes y frecuentes identificados en el Municipio Morán, Estado Lara y los objetivos específicos:1)Identificar botánicamente las especies más frecuentes de *Amaranthus spp* en cada parroquia del Municipio Morán, 2)Determinar la composición química y mineral de las diferentes estructuras (tallo, hojas e inflorescencia) en las especies de *Amaranthus spp* identificadas en el Municipio, 3)Comprobar estadísticamente si existen diferencias significativas en cuanto al valor nutritivo de las diferentes estructuras, de las especies de *Amaranthus spp* identificadas. La Metodología aplicada consistió en recolectar las muestras a través de un muestreo estratificado del área de estudio de acuerdo a la Regionalización Agroecologica del Municipio en 8 estratos. Se determinó el valor nutritivo mediante la composición química, mineral. Llegando a las siguientes resultados: Se identificaron 3 especies de *Amaranthus* como las mas abundantes *Amaranthus dubius Mart*, *Amaranthus spinosus* y *Amaranthus gracilis*, y las mas frecuentes fueron el *Amaranthus dubius Mart* y *Amaranthus spinosus*, se determinó que los *Amaranthus* Identificados contiene una alta concentración de PC (18%), Bajo contenido de FC, característica que lo definen como un forraje de excelente calidad nutricional, además de alto contenido de minerales Calcio(3,2%), Fósforo(0,43%), Potasio(2,78%), Magnesio(1,42 %), principalmente en las hojas indistintamente de las especies evaluadas, en todas las Parroquias en estudio.

**Palabras Clave:** *Amaranthus spp*, identificación botánica, valor nutritivo

## SUMMARY

The Bledo (*Amaranthus spp*) is weeds that grow freely and compete in equality of conditions with the traditional cultures can have nutritional potential, reason for which in this investigation it considered as objective to determine the nutritious value by structures of the species of *Amaranthus spp*) but abundant and frequent identified in the Municipality the specific Mora'ns, State Lara and objectives: 1) To botanical identify the most frequent species of *Amaranthus spp* in each parish of the Municipality Mora'n, 2) To determine mineral the chemical composition and of the different structures (stem, leaves and inflorescencia) in the species from identified *Amaranthus spp* in the Municipality, 3) To verify statistically if significant differences as far as the nutritious value of the different structures exist, of the species of identified *Amaranthus spp*. The applied Methodology consisted of collecting the samples through a stratified sampling of the area of study according to the Regionalización Agroecologica of the Municipality in 8 layers. The nutritious by means of the chemical composition was determined, mineral value. Reaching the following results: 3 species of *Amaranthus* like but abundant the *Amaranthus* were identified *dubius Mart*, *Amaranthus spinosus* and *Amaranthus gracilis*, and but the frequent ones were the *Amaranthus dubius Mart* and *Amaranthus spinosus*, determined that the *Amaranthus* Identified contains a high concentration of PC (18%), Under content of FC, characteristic that defines it as a forage of excellent nutritional quality, in addition to high mineral content Calcium (3.2%), Phosphorus (0.43%), Potassium (2.78%), Magnesium (1.42%), mainly in the leaves indifferently of the evaluated species, in all the Parishes in study.

**Key words:** *Amaranthus spp*, botanical identification, nutritious value

## CONTENIDO

Hoy en día es necesario abrir nuevos caminos hacia la puesta en práctica de novedosos avances tecnológicos en la agricultura, debido a que el mundo todavía se enfrenta a grandes problemas de hambre y desnutrición. Muchos científicos sostienen que para mejorar esa situación se debe aprovechar cultivos totalmente ignorados por el agricultor moderno. Al respecto, existen alternativas agrícolas tales como el cultivo del *Amaranthus*, el cual puede adaptarse a variados ambientes, debido a que el mismo posee numerosas ventajas nutricionales desconocidas por muchos. Esta planta, de acuerdo con su utilización, pudiera contribuir a resolver el problema del hambre por su elevado contenido de vitaminas, aminoácidos, proteínas y minerales (Jacobsen et al, 2002), nutrientes importantes dentro de la dieta diaria normal.

El “bledo”, nombre común del *Amaranthus*, es uno de los cultivos más antiguos de América, pues se cree que apareció hace más de 4000 años y sus especies fueron aprovechadas por civilizaciones Aztecas, Mayas e Incas para la alimentación humana y animal; quienes hicieron de esta planta y del maíz (*Zea mays*), sus dos cultivos principales (Jacobsen et al., 2002).

Esta planta se siembra en Estados Unidos, Perú, México (Tejeda et al., 2004) y otros países de Centro América, Europa, Medio Oriente, África (Cruz, 2004) y China (Cai et al., 2006). En Venezuela son pocos los intentos de cultivo que se han realizado en el pasado para su utilización en la alimentación humana o animal, aunque a partir del año 2005 esta planta fue incluida dentro del programa de rescate de alimentos ancestrales (Lozano, 2007), se ha empleado en bebidas instantáneas (Arcilla y Mendoza, 2006) incrementando la necesidad de su estudio.

El *Amaranthus* contiene 16-17% (Jacobsen et al., 2002), alto contenido en aminoácidos esenciales como lisina y metionina, (Calixto y Armao, 2004). Igualmente contiene minerales como magnesio, potasio, calcio, hierro y es rica en fósforo (Blanco y Ascencio, 2001.), cantidades apreciables de amilopectina (Pacheco, 1991). Este contenido depende de las diferentes estructuras (Troiani, 1998).

Considerando lo antes expuesto, se estableció como objetivo determinar el valor nutritivo de las estructuras (hoja, tallo e inflorescencia) del bledo (*Amaranthus spp*) identificado en el Municipio Morán, Estado Lara.

## METODOLOGÍA

**A. Ubicación y características de la zona de estudio.** La investigación se embarco dentro de la modalidad de campo, realizada en centro sur del Estado Lara, Municipio Morán. El cual tiene una superficie de 2.231 km<sup>2</sup> y limita con el Municipio Torres por el Norte; con el Estado Portuguesa por el Sur; con los Municipios Andrés Eloy Blanco y Jiménez por el Este y con el Estado Trujillo por el Oeste. Presenta una topografía plana en algunos sectores e inclinadas en otros y se encuentra a una altitud promedio de 950 msnm, latitud de 93732 GGMMSS, longitud 695917 GGMMSS y una precipitación anual de 738,8 mm. Los suelos de textura franco arcillo-arenosa y pH bajo (5,4-6,2).

### **B. Identificación Botánica de las Especies de Bledo (*Amaranthus spp*)**

Para identificar las especies de Bledo más abundantes existentes en el Municipio Morán se realizó un recorrido a campo de toda la zona durante dos años consecutivos. El primer paso consistió en dividir el Municipio, de acuerdo a la regionalización agroecológica del mismo, en ocho (8) estratos para tomar las muestras de las diferentes especies de Bledo siguiendo la técnica de muestreo estratificado.

Se considerados para el muestreo las ocho (8) parroquias que conforman el Municipio: Anzoátegui, Bolívar, Guarico, Villanueva, Humocaro Bajo, Humocaro Alto, Guaitó y Barbacoas; de cada parroquia se seleccionaron las tierras con mayor uso hortícola, porque según Matteucci et al. (1999), el crecimiento de los Amarantos están asociados con terrenos intervenidos por el hombre para la producción agrícola.

El muestreo se basó en el lanzamiento al azar de un cuadrado metálico (1x1 m) estimando cinco puntos de muestreo para un área de 0,5 Ha. En cada muestreo se contaron, recolectaron y agruparon por especies todas los *Amaranthus* existentes dentro del cuadrado. El reconocimiento de los *Amaranthus* se realizó en el sitio del muestreo, basándose en el material bibliográfico de Pacheco y Pérez (1989) y Schnee (1984), además del apoyo de técnicos expertos en el conocimiento de malezas.

La evaluación cuantitativa se basó en el número de especies de *Amaranthus* presente en cada cuadrante (cantidad total y cantidad por especie). Posteriormente se determinó el porcentaje de poblaciones *Amaranthus* utilizando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de Poblaciones de } \frac{\text{N}^\circ \text{ de individuos de una especie de } \textit{Amaranthus}}{\text{Total de individuos del } \textit{Amaranthus}} \times 100$$

### **C. Determinación del valor nutritivo de las especies de bledo (*Amaranthus spp*).**

Una vez identificadas las especies de bledo (*Amaranthus spp*) más abundantes en el

Municipio, se determinó el valor nutritivo de las especies identificadas en las parroquias con mayor producción hortícola (Humocaro Alto, Humocaro Bajo y Anzoátegui). Las variables evaluadas se determinaron en la hoja tallo e inflorescencia de las diferentes especies. Para ello se evaluó la composición química de la proteína cruda, materia seca a 110°C, grasa, ceniza, fibra cruda, según los criterios de la AOAC (1990). Con respecto al contenido de minerales se determinó el Hierro (Fe), por espectrofotometría de absorción atómica, según el manual de procedimiento del área foliar de la UCLA; así como también los Macroelementos: Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Potasio (K). El fósforo (P) por espectrofotometría UV- visible con molibdato de amonio

### **Diseño Experimental.**

Para la comparación del valor nutritivo de las especies de bledo, se estableció un diseño experimental completamente aleatorizado con un arreglo de tratamiento factorial 3 3 (especie x estructura x parroquia), con 27 tratamientos y 3 repeticiones para un total de 81 unidades experimentales. El arreglo estuvo conformado por tres especies de *Amaranthus* (*A. dubius* Mart, *A. spinosus* y *A. gracilis*), tres estructuras (hoja tallo e inflorescencia) y tres parroquias (Humocaro Alto, Humocaro Bajo y Anzoátegui).

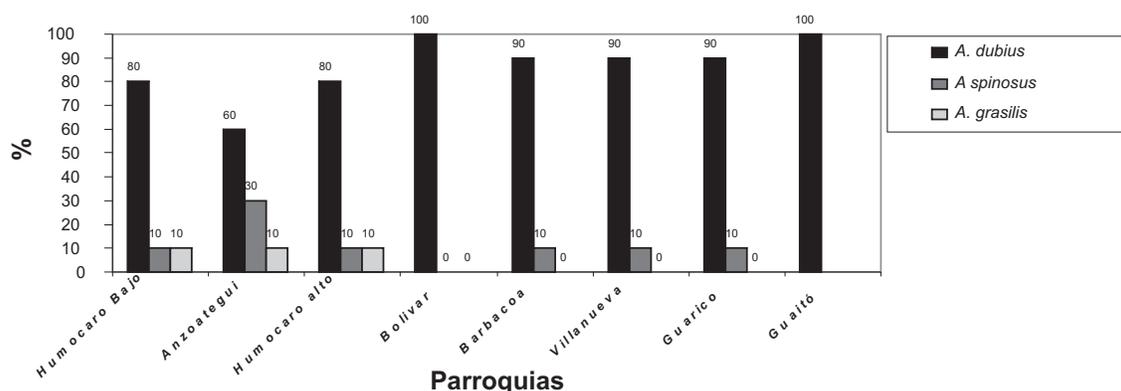
## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **A. Identificación Botánica de las Especies de Bledo (*Amaranthus spp*)**

En las ocho (8) parroquias que conforman el Municipio Morán, se identificaron 3 especies de *Amaranthus* como las más abundantes (Figura 1): *Amaranthus dubius* Mart, *Amaranthus spinosus* y *Amaranthus gracilis*, y dentro de estas las más frecuentes fueron el *Amaranthus dubius* Mart y *Amaranthus spinosus*.

A este respecto, Matteuci et al. (1999) encontraron igualmente más abundante y frecuente en el Estado Falcón el *Amaranthus dubius* Mart. y otras dos especies. Igualmente Ferrarotto (1998), menciona que las especies *Amaranthus dubius* Mart. y *Amaranthus spinosus* son las más ampliamente distribuidas en diferentes áreas del país

El *Amaranthus dubius* Mart, se identificó en las parroquias Humocaro Alto, Humocaro Bajo en un 80%, en la parroquia Anzoátegui en un 60%, en las parroquias de Villanueva, Guarico, Barbacoa en un 90%. Por otra parte en las parroquias de Guaito y Bolívar se identificó en un 100%. El *Amaranthus spinosus* se identificó en las parroquias Humocaro Alto, Villanueva, Guarico, Barbacoa y Humocaro Bajo en un 10%, Anzoátegui en un 30%. Por otra parte el *Amaranthus gracillis* se identificó solamente en las parroquias Humocaro Alto, Anzoátegui y Humocaro Bajo en un 10%.



**Figura 1.** Porcentajes de las especies de Bledo (*Amaranthus*) más abundantes y frecuentes en el Municipio Morán.

## B. Valor Nutritivo de las especies de bledo (*Amaranthus spp*)

### Composición Química: Contenido de proteínas (PC)

Al evaluar el contenido de proteína, se encontró que el valor del mismo fue estadísticamente igual entre las especies y parroquias, no así entre las estructuras, las cuales presentaron diferencias altamente significativas en cuanto al contenido de proteínas entre las hojas, tallos e inflorescencias), además se encontró efecto estadístico para la interacción triple de los factores evaluados de las especies por estructuras por parroquias.

Se puede observar (Cuadro 1), que los valores de proteína cruda en la parroquia Humocaro Alto exhibe iguales valores indistintamente en la hojas, tallos e inflorescencias en la especie *Amaranthus spinosus*, en cambio los *A. dubius* Mart y *A. gracilis* contienen los mayores valores en las hojas e inflorescencias.

Por otra parte, en las parroquias de Humocaro Bajo y Anzoátegui, la variable proteína cruda se comportó diferentes en cada una de las especies, observándose que la especie *Amaranthus gracilis* fue la que presentó igual contenido en todas las estructuras de la planta, al contrario los *Amaranthus dubius* Mart y *Amaranthus spinosus* mostraron los mayores contenidos en las hojas e inflorescencias. Igualmente Troiani et al. (1998) encontró los mayores porcentajes de proteína Cruda en las Hojas.

Los valores obtenidos en este ensayo, en las diferentes estructuras de la planta (hoja, tallo e inflorescencia), son mayores a lo reportado por Pacheco (1991); Ramos y Curbelo (1997); FONAIAP (2000); quienes indicaron que la semilla tiene aproximadamente 16% de proteína. Por otra parte, Arkhiova et al., (1998), encontraron que algunas especies de *Amaranthus* (*A. cruentus*, *A. cruentus* var. *Chorostachys*, *A. caudatus* y *A. mantegazzianus*), generan altos contenido de proteína cruda (15 a 20 % por masa seca), siendo estos valores muy similares a los sostenidos en este ensayo.

**Cuadro 1.** Valores promedios del contenido de Proteína Cruda (%) en las diferentes estructuras de las especies de *Amaranthus dubius* Mart, *A spinosus*. y *A. gracilis* más abundante en las parroquias Humocaró Alto, Bajo y Anzoátegui del Municipio Morán.

Estructuras de la planta	Parroquias								
	Humocaró Alto			Humocaró Bajo			Anzoátegui		
	<i>A. spinosus</i>	<i>A. dubius</i> Mart	<i>A. gracilis</i>	<i>A. spinosus</i>	<i>A. dubius</i> Mart	<i>A. gracilis</i>	<i>A. spinosus</i>	<i>A. dubius</i> Mart	<i>A. gracilis</i>
<b>Hoja</b>	26,04 a	28,51 a	32,79 a	27,14 a	23,00 a	24,26 a	25,18 a	24,82 a	26,73 a
<b>Tallo</b>	15,25 a	19,54 b	9,89 c	15,22 c	16,29 b	16,38 a	17,84 c	19,17 b	17,77 a
<b>Infloresc</b>	26,74 a	23,40 ab	24,59 b	22,59 b	26,43 a	23,06 a	21,59 b	27,47 a	19,99 a

Medias seguidas por la misma letra, en el sentido de la columna, no difieren significativamente según la prueba de mds ( $p < 0,05$ ). \* Inflores : inflorescencia

### Contenido de grasa (EE)

Las especies evaluadas de *Amaranthus* y las estructuras (Hoja, tallo e inflorescencia) presentaron diferencias altamente significativas en cuanto al contenido de grasa, no así entre las parroquias. Además se encontró efecto estadístico para la interacción doble de las especies por las estructuras e interacción triple de los tres factores evaluados.

En el Cuadro 2, se muestra que *Amaranthus gracilis* indistintamente de la parroquia donde se encuentre los contenidos de grasa se comportan estadísticamente iguales en hojas, tallo e inflorescencia. De igual modo, son iguales en el *A. spinosus* en las parroquias de Humocaró Alto y Anzoátegui, no así en Humocaró Bajo, en el cual los mayores porcentajes se presentó en la inflorescencia. De otro modo, el *A. dubius* Mart mostró los mayores valores tanto en hojas como en la inflorescencia.

Los valores obtenidos en esta investigación, fueron menores a los reportados por Pacheco (1991) y Jacobsen et al. (2002) quienes encontraron un contenido de lípidos que va de 7 a 8 %. Sin embargo, Troiani et al. (1998), menciona que el contenido se encuentra alrededor de 3,2%.

**Cuadro 2.** Valores promedios del contenido de grasa (%) en las diferentes estructuras de las especies de *Amaranthus dubius* Mart, *A. spinosus*. y *A. gracilis* más abundante en las parroquias Humocaró Alto, Bajo y Anzoátegui del Municipio Morán.

Estructuras de la planta	Parroquias								
	Humocaró Alto			Humocaró Bajo			Anzoátegui		
	<i>A. spinosus</i>	<i>A. dubius</i> Mart	<i>A. gracilis</i>	<i>A. spinosus</i>	<i>A. dubius</i> Mart	<i>A. gracilis</i>	<i>A. spinosus</i>	<i>A. dubius</i> Mart	<i>A. gracilis</i>
<b>Hoja</b>	1,25 a	1,32 b	1,91 a	0,81 b	2,78 a	1,24 a	1,27 a	2,28 a	1,91 a
<b>Tallo</b>	0,77 a	0,73 c	0,85 a	0,61 b	0,79 b	0,71 a	0,69 a	0,76 b	0,84 a
<b>Inflores</b> *	1,44 a	2,22 a	2,09 a	2,07 a	1,92 a	2,15 a	1,25 a	1,42 ab	2,22 a

Medias seguidas por la misma letra, en el sentido de la columna, no difieren significativamente según la prueba de m.d.s. ( $p < 0,05$ ). \* Inflores : inflorescencia

### Contenido de ceniza

El contenido de ceniza presentó diferencias significativas según las especies (*A. dubius*, *A. spinosus*, *A. gracilis*), las estructuras (hoja tallo e inflorescencia) y las parroquias evaluadas. También hubo efecto altamente significativo entre las interacciones dobles especies por parroquias, estructuras por parroquias e interacción triple de los factores evaluados.

Al detallar el Cuadro 3, se observa que *A. spinosus* presentó iguales valores de ceniza en las hojas, tallos e inflorescencias en cada uno de las parroquias valoradas. De igual forma, el *A. dubius* Mart presentó igual contenido de ceniza en Humocaró Bajo y Anzoátegui, contrario a esto, en Humocaró Alto los porcentajes mas altos de ceniza se encontró en las inflorescencias. En cambio el *A. gracilis* presentó los porcentajes mas bajos de ceniza en las inflorescencias de las plantas provenientes de Humocaró Alto y Bajo, pero no así en Anzoátegui.

Los valores obtenidos en esta investigación, fueron similares a los reportados por Troiani et al. (1998), quienes evaluaron el porcentaje del mismo en la biomasa de varios cortes y encontraron valores que oscilaban entre 17,68 a 21,44 %, aunque son superiores a lo obtenido por Troiani et al. (1998), el cual encontró un contenido de cenizas del 19,9% en las partes verdes de diferentes especies de *Amaranthus* en Argentina.

**Cuadro 3.** Valores promedios del contenido de ceniza (%) en las diferentes estructuras de las especies de *Amaranthus dubius* Mart, *A. spinosus*. y *A. gracilis* más abundante en las parroquias Humocaró Alto, Bajo y Anzoátegui del Municipio Morán.

Estructuras de la planta	Parroquias								
	Humocaró Alto			Humocaró Bajo			Anzoátegui		
	<i>A. spinosus</i>	<i>A. dubius</i> Mart	<i>A. gracilis</i>	<i>A. spinosus</i>	<i>A. dubius</i> Mart	<i>A. gracilis</i>	<i>A. spinosus</i>	<i>A. dubius</i> Mart	<i>A. gracilis</i>
<b>Hoja</b>	20,65 a	60,43 b	26,29 a	19,71 a	27,90 a	31,55 a	22,58 a	25,87 a	19,43 b
<b>Tallo</b>	20,29 a	55,47 b	23,42 a	22,35 a	27,67 a	22,65 b	26,93 a	22,35 a	25,65 ab
<b>Inflores</b>	21,71 a	78,32 a	17,52 b	16,95 a	21,00 a	15,78 c	22,61 a	21,99 a	28,20 a

Medias seguidas por la misma letra, en el sentido de la columna, no difieren significativamente según la prueba de m.d.s. ( $p < 0,05$ ). \* Inflores : inflorescencia

### Contenido de Fibra cruda (FC)

En cuanto al contenido de FC se observó, que existe diferencia estadística según las especies, estructuras y parroquias estudiadas. También hubo efecto altamente significativo entre las interacciones dobles, de las especies por estructuras y de las estructuras por las parroquias e igualmente existe diferencias en cuanto al contenido de FC en la interacción triple de los tres factores (Especies por estructuras por parroquias).

El *Amaranthus dubius* Mart presentó iguales contenidos de FC indistintamente de las estructuras de la planta, en la parroquia Humocaró Alto y Bajo, en cambio en Anzoátegui se encontraron los mayores porcentajes en las inflorescencias. De igual manera, el *A. spinosus* y *A. gracilis* presentan los mayores valores de FC en las inflorescencias indistintamente de las parroquias de donde provienen (Cuadro 4).

Los valores obtenidos, en este ensayo fueron mayores a los reportados por Troiani et al. (1998) quienes localizaron promedios entre 11,02 a 11,50% en biomásas de diferentes edades de cortes. Del mismo modo, Troiani et al. (1998) encontró valores bajos de fibra (9,9%), en las partes verdes de la planta, en diferentes *Amaranthus* en Argentina.

Los valores obtenidos, en este ensayo fueron mayores a los reportados por Troiani et al. (1998) quienes localizaron promedios entre 11,02 a 11,50% en biomásas de diferentes edades de cortes.

Del mismo modo, Troiani et al. (1998) encontró valores bajos de fibra (9,9%), en las partes verdes de la planta, en diferentes *Amaranthus* en Argentina.

**Cuadro 4.** Valores promedios del contenido de FC (%) en las diferentes estructuras de las especies de *Amaranthus dubius* Mart, *A spinosus*. y *A. gracilis* más abundante en las parroquias Humocaró Alto, Bajo y Anzoátegui del Municipio Morán.

Estructuras de la planta	Parroquias								
	Humocaró Alto			Humocaró Bajo			Anzoátegui		
	<i>A. spinosus</i>	<i>A. dubius</i> Mart	<i>A. gracilis</i>	<i>A. spinosus</i>	<i>A. dubius</i> Mart	<i>A. gracilis</i>	<i>A. spinosus</i>	<i>A. dubius</i> Mart	<i>A. gracilis</i>
<b>Hoja</b>	60,60 b	20,68 a	54,47 b	60,59 b	79,52 a	64,73 b	52,76 b	59,55 b	59,41 c
<b>Tallo</b>	52,16 b	21,45 a	60,85 b	56,63 b	62,88 a	55,68 c	66,37 a	61,78 b	65,17 b
<b>Inflores</b>	72,59 a	19,59 a	71,47 a	70,86 a	82,35 a	89,17 a	67,61 a	84,17 a	79,07 a

Medias seguidas por la misma letra, en el sentido de la columna, no difieren significativamente según la prueba de m.d.s. ( $p < 0,05$ ).

### Materia Seca (MS)

Con respecto al porcentaje de Materia Seca se encontró diferencias altamente significativas entre las diferentes estructuras de la planta, en otras palabras son diferentes los contenidos de MS en las hojas, tallos e inflorescencias.

Por otra parte, existen diferencias entre el contenido de MS entre las especies provenientes de las diferentes parroquias. Así como también se encontró efecto significativo en la interacción doble de los factores estructuras por parroquias.

En el Cuadro 5, se observa que contenido de materia seca es igual en tallos e inflorescencias indistintamente de las parroquias de donde provienen. En cambio los valores de MS en las hojas son mayores en las especies recolectadas de Humocaró Alto y las menores en Humocaró Bajo

Ramos y Curbelo (1997) encontraron valores inferiores de MS (18,18 a 20%) en *Amaranthus cruentus*, en plantas tiernas en un estudio realizado en Cuba. Igualmente, Troiani et al. (1998) obtuvieron valores menores en *Amaranthus mantegazzianus* (19%).

**Cuadro 5.** Valores promedios del contenido de Materia Seca (%) por estructuras entre las especies de *Amaranthus dubius* Mart, *A. spinosus* L., *A. gracilis* en las parroquias Humocaro Alto, Bajo y Anzoátegui del Municipio Morán.

Parroquias	Estructuras de la planta		
	Hoja	Tallo	Inflorescencia
Humocaro Alto	93,60 a	91,79 a	87,02 a
Humocaro Bajo	87,99 b	91,40 a	86,23 a
Anzoátegui	90,69 ab	79,76 a	88,11 a

Medias seguidas por la misma letra, en el sentido de la columna, no difieren significativamente según la prueba de mds ( $p < 0,05$ ). \* Inflores : inflorescencia

### Contenido de Minerales: Contenido de fósforo (P)

En el análisis de la varianza del contenido de fósforo, se observa en el mismo que tanto las estructuras (hoja, tallo e inflorescencia), como las diferentes especies identificadas (*A. spinosus*, *A. dubius* Mart, *A. gracilis*) en las parroquias de Humocaro Alto, Bajo y Anzoátegui, no presentaron diferencias significativas, en otras palabras el contenido de fósforo es igual tanto en las diferentes estructuras de la planta, especies identificadas y parroquias evaluadas, con un valor promedio de 0,77 %.

Estos resultados son contrarios a los reportados por Blanco y Ascencio (2001), quienes encontraron mayor concentración de fósforo total en las hojas de las plantas en estudios realizados en *Amaranthus dubius* Mart en Maracay, Estado Aragua. Igualmente Ramos y Curbelo, (1997) encontraron valores más altos de fósforo (0,43%) en las hojas y tallos en *Amaranthus cruentus*, en un estudio realizado en Cuba.

Por el contrario, Troiani et al., (1998) encontraron valores más bajos de fósforo (0,31% a 0,41%) correspondientes a la biomasa en diferentes edades de corte de *Amaranthus spp.* En relación a esto, también se reportan en la parte verde de la planta valores de fósforo 311 mg por 100g en estudios realizados por Troiani et al. (1998).

### Contenido de Potasio (K)

El contenido de Potasio presentó diferencias estadísticas entre las estructuras (hojas, tallos e inflorescencias), así como entre la parroquias de donde fueron extraídas las plantas; también se

presentaron diferencias en las interacciones dobles entre las especies por estructuras, entre las especies por parroquias de donde provienen y entre las parroquias por estructuras y se presentó diferencias entre la interacción triple de los factores evaluados.

En el cuadro 6, se observa que los porcentajes de potasio en Humocar Alto son iguales tanto para el *Amaranthus. spinosus*, como en el *A. dubius* Mart en sus tres estructuras (hojas, tallos e inflorescencias); al contrario el *A. gracilis* presentó mayor porcentaje de potasio en los tallos y menor en hojas e inflorescencias.

**Cuadro 6.** Valores promedios del contenido de potasio (%) en las diferentes estructuras de las especies de *Amaranthus dubius* Mart, *A spinosus.* y *A. gracilis* más abundante en las parroquias Humocar Alto, Bajo y Anzoátegui del Municipio Morán.

Estructuras de la planta	Parroquias								
	Humocar Alto			Humocar Bajo			Anzoátegui		
	<i>A. spinosus</i>	<i>A. dubius</i> Mart	<i>A. gracilis</i>	<i>A. spinosus</i>	<i>A. dubius</i> Mart	<i>A. gracilis</i>	<i>A. spinosus</i>	<i>A. dubius</i> Mart	<i>A. gracilis</i>
<b>Hoja</b>	4,10 a	4,05 a	4,48 b	3,37 b	3,86 b	2,22 c	4,69 a	3,72 a	3,71 a
<b>Tallo</b>	2,45 a	2,65 a	7,44 a	7,00 a	7,26 a	6,53 a	6,34 a	2,45 a	3,51 a
<b>Inflores</b>	3,09 a	2,29 a	4,25 b	3,84 b	4,89 b	4,38 b	4,72 a	4,43 a	2,79 a

Medias seguidas por la misma letra, en el sentido de la columna, no difieren significativamente según la prueba de mds ( $p < 0,05$ ). \* Inflores : inflorescencia

Por otra parte, en Humocar Bajo, las tres especies de *Amaranthus* muestran los contenidos más elevados en los tallos y los valores más bajos los presenta en forma similar en hojas e inflorescencias, excluyendo al *A. gracilis* el cual contiene los valores más bajos de potasio en las hojas.

En Anzoátegui se exhibe un comportamiento diferente entre los factores evaluados; se observó que los contenidos de potasio son similares en hojas, tallos e inflorescencias independientemente de la especie de *Amaranthus* evaluada. Ramos y Curbelo (1997), encontraron valores de potasio similares entre las hojas y tallos (2,78%) en *Amaranthus cruentus* en un estudio realizado en Cuba, lo cual difiere con los resultados obtenidos en este ensayo.

### Contenido de Calcio (Ca)

No se encontraron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ), en cuanto al contenido de calcio en las especies de Bledo estudiadas, así como entre las diferentes parroquias; sin embargo, solo se encontró efecto estadístico para las diferentes estructuras de la planta, es decir, el contenido de calcio fue diferente entre hojas, tallos e inflorescencias.

Se evidenció que el mayor valor promedio de calcio se presenta en las hojas (2,67%); mientras que en las inflorescencias y tallos se presentan porcentajes menores (Cuadro 7). Estos resultados coinciden con los encontrados por Troiani et al. (1998), quienes reportaron que el porcentaje promedio de calcio se presenta en la biomasa (2,74 a 3,36%) dependiendo de la edad de corte. Contrario a los resultados obtenidos en esta investigación, Ramos y Curbelo (1997), determinaron porcentajes altos de calcio (3,2%) en hojas y tallos de *Amaranthus cruentus*. En este orden de ideas, Bianco et al. (1998) hallaron una alta concentración de Ca en *Amaranthus retroflexus* por lo cual la consideraron como una especie silvestre con excelente reservorio de nutrientes.

**Cuadro 7.** Valores promedios del contenido de Calcio (%) en las hojas tallos e inflorescencias de *Amaranthus*

Estructuras de la Planta	Contenido de Calcio
Hoja	2,667 a
Tallo	1,15 b
Inflorescencia	1,07 b

Medias seguidas por la misma letra, en el sentido de la columna, no difieren significativamente según la prueba de m.d.s. ( $p < 0,05$ ).

### Contenido de Magnesio (Mg)

Los *Amaranthus* identificados (*A. spinosus*, *A. dubius* Mart, *A gracilis*), no presentaron significancia en cuanto al contenido de magnesio, así como tampoco en las diferentes parroquias de donde proceden (Humocaro Alto, Humocaro Bajo y Anzoátegui); es decir son iguales en cuanto el contenido de magnesio. No obstante, solo se encontró diferencias altamente significativas entre los valores de las diferentes estructuras de la planta.

De tal modo, que al realizar las comparaciones múltiples se verificó que existen diferencias en cuanto al contenido de magnesio en las estructuras (Cuadro 8)., observándose que los valores más elevados se encuentran en hojas (0,91%) y los más bajos en las Inflorescencias (0,64%) y

tallos (0,61%) Contrario a estos resultados, Ramos y Curbelo, (1997) encontraron valores más altos de potasio en las hojas y tallos (1,41%), en especies de *Amaranthus cruentus*. Por otra parte, Troiani et al. (1998), encontraron valores similares (1,21 a 1,48%) a los arrojados en este estudio.

**Cuadro 8.** Valores promedios del contenido de Magnesio (%) en las hojas, tallos e inflorescencias de *Amaranthus spp.*

Estructura de la Planta	Contenido de Magnesio
Hoja	0,91 a
Tallo	0,64 b
Inflorescencia	0,61 b

Medias seguidas por la misma letra, en el sentido de la columna, no difieren significativamente según la prueba de m.d.s. ( $p < 0,05$ ).

### Contenido de Hierro (Fe)

Se encontró diferencias significativas entre el contenido de hierro de los bledos (*Amaranthus*) provenientes de las tres parroquias, no así entre las diferentes especies de *Amaranthus* y estructuras de la planta. Además se encontró que existe diferencias entre la interacción doble de las especies por las parroquias de donde provienen las plantas.

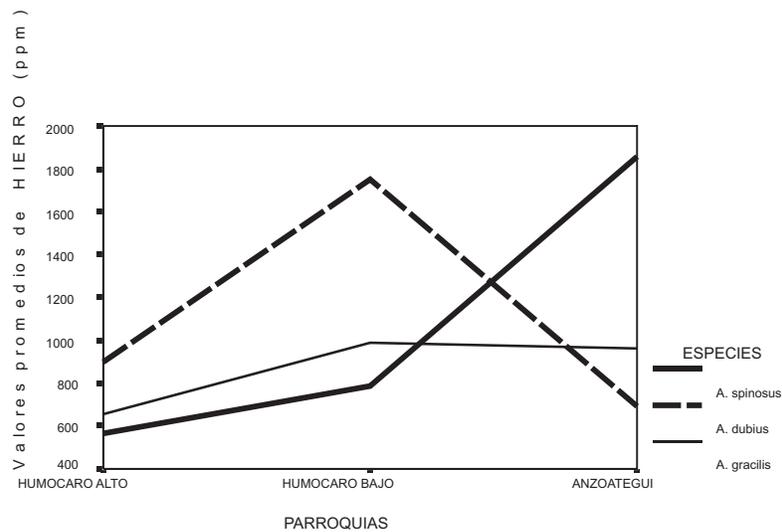
Determinándose, según lo indicado en el Cuadro 9, que el contenido de hierro es igual en las hojas (970,62 ppm), tallos (1015,77 ppm) e inflorescencias (1066,0 ppm), independientemente de las especies y las parroquias de donde provengan. Contrario a esto, Anusuya-Rangarajan et al. (1998) determinaron que el mayor nivel de hierro total y bioasimilable se encuentra en las hojas. Los resultados encontrados fueron también diferentes a los reportados por el INN (1999) en el cual mencionan que los tallos son los que presentan el mayor contenido de hierro. Inmerso (2006) y Troiani et al. (1998) encontraron valores de hierro inferiores a los reportados en este estudio.

**Cuadro 9.** Valores promedios del contenido de Hierro (ppm) por especies (*Amaranthus dubius* Mart, *A. spinosus* L., *A. gracilis*) entre las parroquias Humocaró Alto, Bajo y Anzoátegui del Municipio Morán.

Especies	Parroquias		
	Humocaró Alto	Humocaró bajo	Anzoátegui
<i>A. spinosus</i>	561,89 b	786,67 b	1858,8 a
<i>A. dubius</i> Mart	898,56 a	1751,9 a	689,67 b
<i>A. gracilis</i>	656,22 ab	990,11 ab	963,56 b

Medias seguidas por la misma letra, en el sentido de la columna, no difieren significativamente según la prueba de mds ( $p < 0,05$ ).

Adicionalmente, en la Figura 2, se observa que el contenido de Hierro es igual en las tres especies en las parroquias Humocaro Alto y Bajo, no así en Anzoátegui en el cual el valor más elevado de Fe se presentó en el *A. dubius* Mart.



**Figura 2.** Contenido de Hierro (ppm) de las especies de de *Amaranthus* por las Parroquias.

## CONCLUSIONES

- Las especies de Bledo (*Amaranthus*) más abundantes identificados en el Municipio Morán fueron tres (3): *Amaranthus dubius* Mart, *Amaranthus spinosus* y *Amaranthus gracilis*, y entre estas las más frecuentes fueron el *Amaranthus dubius* Mart y *Amaranthus spinosus* L., las cuales se encontraron distribuidas de la siguiente manera de acuerdo a los estratos evaluados:
- El *Amaranthus dubius* Mart, se identificó en las parroquias Humocaro Alto, Humocaro Bajo en un 80%, en la parroquia Anzoátegui en un 60%, en las parroquias de Villanueva, Guarico, Barbacoa en un 90%. Por otra parte en las parroquias de Guaito y Bolívar se identificó en un 100 %.
- El *Amaranthus spinosus* L. se identificó en las parroquias Humocaro Alto, Villanueva, Guarico, Barbacoa y Humocaro Bajo en un 10% , Anzoátegui en 30%
- El *Amaranthus gracillis* se identificó solamente en las parroquias Humocaro Alto, Anzoátegui y Humocaro Bajo en un 10%.

- Las especies de *Amaranthus* identificadas contienen una alta concentración de proteínas crudas (18%), bajo contenido de fibra, Así como porcentajes menores al 5% de grasa, características que lo definen como un forraje de excelente calidad nutricional, además de alto contenido de minerales Ca(3,25%), Mg(1,42%) P(0,435), K(2,78%) y Fe, principalmente en las hojas de los *Amaranthus*.
- En General, las distintas estructuras de la planta presentó un balance aceptable para cubrir las necesidades nutritivas esenciales de las raciones alimenticias por proveer concentraciones altas de proteínas y energía, predominando en hojas e inflorescencias de las plantas provenientes de todas las parroquias.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anusuya-Rangarajan, W. A. Chenoweth, J. F. Kelly, K. M. Agee y A. Rangarajan 1998. Iron bioavailability from *Amaranthus* species: 2 - Evaluation using haemoglobin repletion in anaemic rats. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 78(2): 274-280.
- AOAC. 1990. Official methods of analysis. Association of Official Analytical Chemists Arglington, Virginia. 1298 p.
- Arcila, N. y Y. Mendoza. 2006. Elaboración de una bebida instantánea a base de semillas de amaranto (*Amaranthus cruentus*) y su uso potencial en la alimentación humana. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*. 23:114-124.
- Arellano, M. A., G., Albarracin, S., Arce y S., Mucciarelli. (2004). Estudio comparativo de hojas de Beta vulgaris con *Amaranthus dubius* Mart ex Thell. *Revista Internacional de Botánica Experimental (PYTON)*. 53:193-197.
- Arkhipova, N.S., I. P. Brus y I. A. Chernov. 1998. Growth, productivity and green biomass quality of some species of *Amaranthus* L. under conditions of soil salinization. *Rastitel'nye Resursy*. 34(1):41-46.
- Bianco, V. V., P. Santamaría, A. Elia, V. E. Rubatzky, H. Chen y J.Y. Peron. 1998. Nutritional value and nitrate content in edible wild species used in southern Italy. *Acta Horticulturae*. 467:71-87.
- Blanco, G. y J. Ascencio. 2001. Efecto de la incidencia de fósforo sobre algunos índices de eficiencia asociados al crecimiento, partición de simlados y utilización del fósforo y después de un periodo de recuperación en *Amaranthus dubius* Mart. *Anales de Botánica Agrícola*. 8:25-36.
- Cai, Y. Z., J. Xing, M. Sun y H. Corke. 2006. Rapad identification of Betacyanins from *Amaranthus tricolor*, *Gomphrena globosa*, and *hylocereus polyrhizus* by Matrix-Assisted Laser desorption quadrupole lon trap time.of-flight mass spectrometry (MALDI-QIT-TOFMS). *J. Agric. Food. Chem.* 54: 6520-6526.
- Calixto, M. R. y S. I. Arnao. 2004. Modificación Enzimática del almidón nativo de *Amaranthus caudatus* Linneo. *Rev. Soc. Quim. Perú*. 70(1):2-8.
- Cruz, H., J. 2004. Evaluación de la interferencia de *Amaranthus dubius* Mart. ex Thellung sobre un cultivo de maíz (*Zea mays*) a través del uso de un método aditivo. Tesis de grado. Decanato de AgronomíaUCLA. Venezuela.
- Ferrarotto, S.M. 1998. Arquitectura Foliar de *Amaranthus dubius* Mart. y *Amaranthus cruentus* L. (Amaranthaceae).

- Acta. Bot. Venez. 21(1):75-85.
- FONAIAP. 2000. Caracas, pira o bledo una hierba maravillosa. Formas para consumirla. Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Ediciones divulgativas. Boletín N° 20. Caracas. (Venezuela).
- Inmerso, A. J. 2006. El Amaranto. [Documento en línea]. Disponible: [http://www.academiahomeopatia.org.ar/c\\_amaranto.htm](http://www.academiahomeopatia.org.ar/c_amaranto.htm) [Consulta: 2006, Agosto]
- INN. 1999. Caracas, pira o bledo una hierba maravillosa. Instituto Nacional De Nutricion Ediciones divulgativas. Boletín N° 22. Caracas. (Venezuela).
- Jacobsen, S. K., K. Itenov y A. Mújica. 2002. Amaranto como un cultivo nuevo en el norte de Europa. *Agronomía Trop.* 52(1):109-119.
- Lozano, M. 2007. Caracas, pira o bledo... pero se come. Prensa Latina-Agencia informativa Latinoamericana. Abril, 24. La Habana (Cuba)..
- Matteucci, S. D., L., Pla, y A., Colma. 1999. Recolección sistemática de Germoplasma de *Amaranthus spp.* en ecosistemas secos del Estado Falcón, Venezuela. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*.16:356-370.
- Pacheco, E. 1991. La harina del amaranto granífero ideal para enriquecer la de maíz. *Agronomía al Día.* 4(7): 35-36.
- Pacheco, J. J. y L. Pérez. 1989. Malezas de Venezuela. Aspectos botánicos, ecológicos y formas de combate. Primera Edición. San Cristóbal. (Venezuela): 38-41 pp.
- Ramos, N. y F., Curbelo. 1997. Efecto del momento de la cosecha en la producción de forraje y calidad del amaranto (*Amaranthus cruentus*) cv. Morelos. *Rev. Cubana Cienc. Agríc.* Tomo 31 (2): 201-107.
- Schnee, L. 1984. Plantas comunes de Venezuela. Tercera edición. Ediciones de la biblioteca de UCV. Caracas. (Venezuela): pp 94-95 y pp592-593.
- Tejeda, S. O., E. A. Escalante, H. M., G. M. Soto, H. Rodríguez, G. M. Vibrans y Ramírez. 2004. Inhibidores de la germinación en el residuo seco de tallo de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*). *Rev. Soc. Quím. Méx.* 48:118-123.
- Troiani, R. M., T. Sánchez y N. Reinaudi. 1998. Una amarantácea con posibilidades de consumo y cultivo granífero y hortícola. *Rev. Fac. Agro. Universidad del Zulia.* Maracaibo. Venezuela. 15: 30-37



## COMPARACIÓN DEL EFECTO DE LOS SUPLEMENTOS REDUCTORES DE OXÍGENO DISUELTO SOBRE EL RECuento DE BIFIDOBACTERIUM SPP.\*

### COMPARISON EFFECT OF DISSOLVED OXYGEN REDUCE SUPPLEMENTS ON THE ENUMERATION OF BIFIDOBACTERIUM SPP.

*Virginia Medina*<sup>1</sup>; *Blanca Barrios*<sup>2</sup> y *Tony Garcia*<sup>3</sup>

\*Tesis de Maestría del Área de Postgrado, UNELLEZ-San Carlos

<sup>1</sup>MSc. (UNELLEZ). Tecnológico de Acarigua, Acarigua, Estado Portuguesa, Venezuela.

<sup>2</sup>MSc. (UNELLEZ). UNEFA, Tinaquillo, Estado Cojedes, Venezuela.

<sup>3</sup>MSc. (UNELLEZ). Tutor Académico. Programa Ingeniería Agroindustrial.

Decanato de Agronomía. UCLA. Barquisimeto, Estado Lara, Venezuela.

Email: [tonnygarcia@gmail.com](mailto:tonnygarcia@gmail.com)

Recibido: 25-10-2006 / Aceptado: 23-01-2007

## RESUMEN

La recuperación de un cultivo puro liofilizado de *Bifidobacterium spp*, en caldo de MRS (Man Rogosa and Sharpe), bajo dos condiciones de suplementación, L-Cisteína-HCL y L-Cisteína, con concentración de 0,05% (p/v), se les evaluó la densidad celular, mediante lecturas espectrofotométricas a una longitud de onda de 600 nm. Adicionalmente, se realizó una enumeración de colonias, a través de un recuento en placa, utilizando como medio de crecimiento el agar MRS, haciendo siembras en las diluciones  $10^{-6}$ ,  $10^{-7}$  y  $10^{-8}$ ; manteniéndose, la suplementación antes mencionada. Al comparar si existía diferencia significativa entre los suplementos utilizados se encontró que ambos son diferentes, es decir, el mayor crecimiento microbiano, tanto en lecturas de densidad celular como Log de ufc/g, se debe al efecto de la L-Cisteína bajo las condiciones de estudio.

**Palabras clave:** *Cultivo puro liofilizado, Bifidobacterium spp, densidad celular, caldo MRS.*

### SUMMARY

The recovery of lyophilized pure culture of *Bifidobacterium spp*, in broth of MRS (Man Rogosa and Sharpe), under various supplementation conditions, L-cysteine-HCL and L-cysteine, with concentration of 0,05% (m/v), the cellular density were, by means of readings espectrofotometricas to a wavelength of 600 nm. Additionally, was carried out by counting of colonies, through a recount in badge, using medium of MRS the agar, making isolation in the dilutions  $10^{-6}$ ,  $10^{-7}$  and  $10^{-8}$ ; maintaining the supplementation mentioned before. When comparing if significant difference existed among the utilized supplements it was found that both are different, that is to say, the biggest microbial growth, also in readings of cellular density as ufc/ gr Log, is due to the effect of the L-cysteine under the study conditions.

**Keywords:** *lyophilized pure culture, Bifidobacterium spp, cellular density, MRS broth*

## INTRODUCCIÓN

Las Bífidobacterias han sido frecuentemente descritas como “probióticos”, palabra de origen griego que significa “a favor de la vida”; término que se ha utilizado para definir aquellas bacterias que tienen efectos benéficos sobre la salud del hospedero, manteniendo una relación simbiótica, mientras habita en el tracto gastrointestinal.

Este grupo se caracterizan por ser bacilos gram-positivos, inmóviles, no esporulados, y catalasa negativo. Su morfología celular se presenta como bacilos de forma variada característica como bastones únicos o en cadena, en forma de “Y” o “V” agrupados, sus extremos por lo general muestran protuberancias y pueden o no tener una o más ramificaciones (Salminen et al., 1.993). Es anaerobio estricto; pueden fermentar un amplio rango de sustratos, incluyendo la lactosa. Pueden no crecer a temperaturas menores de 20° C y en general no son termorresistentes a temperaturas por debajo de los 46 °C. Presenta un estrecho rango de pH óptimo para el crecimiento comprendido entre 6,5 a 7 y no presenta crecimiento a pH inferior a 5 y superior a 8 (Tamine, 1995).

Investigaciones desarrolladas en esta área, han reportado que las Bífidobacterias compiten por la colonización en el intestino (Hoover, 1993) y a través de ensayos realizados in vitro y en animales, se ha demostrado que previenen la infección, estimulando el sistema inmunológico, síntesis de la vitamina del complejo B , mejora la tolerancia a la lactosa además de efectos antitumorogénicos y anticancerígenos (Ishibashi and Shimamura, 1993). Por tal motivo es que se han elaborado una diversidad de preparados a partir de probióticos, con la finalidad de combatir la diarrea en niños y el estreñimiento en ancianos. Estos preparados han sido incorporados a varios productos de origen lácteos tales como: helados, yogurt, leches fermentadas entre otros. También se han combinado con otros microorganismos como: *Streptococcus salivarius*, *Lactobacillus bulgaricus* y *acidophilus*. Para el momento de consumo de estos productos, se debe mantener una concentración superior a 10<sup>6</sup> ufc/g del microorganismo, confiriéndole las propiedades benéficas antes mencionados (Samona and Robinson, 1991). Debido a ello, es importante conocer durante la elaboración como al momento de distribución del producto, el recuento viable de Bífidobacterias.

Desafortunadamente, la viabilidad y recuperación de las cepas liofilizadas de

Bífidobacterias, ha sido difícil de evaluar ya que diferentes medios de cultivos reportados en la literatura, no son suficientemente selectivos para estos; inhibiendo su crecimiento, resultando recuentos inadecuadamente bajos (Payne et al., 1999).

Existen varios factores que pueden ocasionar lesión a las células, como lo es: la temperatura, pH y principalmente el oxígeno pues la presencia de este último en el medio de recuperación y enumeración es letal.

Su sensibilidad al oxígeno, se debe a su incapacidad de eliminar los productos tóxicos derivados del oxígeno metabolizado.

Cuando se reduce el oxígeno, se producen algunos elementos tóxicos tales como: peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ), superóxido ( $O_2^-$ ) y radicales hidroxilo ( $OH^-$ ). Muchos anaerobios estrictos son ricos en enzimas flavínicas, que reaccionan espontáneamente con el oxígeno y de no presentar enzimas como: Super-oxido dismutasa y la catalasa, el microorganismo está indefenso ante efectos nocivos del superóxido y del peróxido de hidrógeno acumulados.

Para solventar este inconveniente de autooxidación, los medios deben ser prerreducidos, por ello encontramos estudios realizados para comparar medios de recuperación y enumeración selectiva para Bifidobacteria, que difieren en su composición, pero en la mayoría de los casos son suplementados con L-Cisteína HCL al 0,05 % (p/v) que actúa como agente reductor del contenido de oxígeno. Además sirve como fuente esencial de nitrógeno, pero en estudios aislados, se ha reportado la aplicación de otro suplemento como L-Cisteína en agar modificado VF-Bouillon (extracto de hígado y carne magra de vacuno), obteniéndose como resultado en este último, el 99 % del organismo probiótico recuperado (Caliccia et al 1993., citado por Payne et al 1999).

Considerando todo lo antes discutido se realizó una investigación para comparar el efecto de los suplementos L-Cisteína HCL y L-Cisteína al 0,05 % (p/v) sobre el recuento de *Bifidobacterium spp* en caldo y agar MRS.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Partiendo de una cepa comercial de *Bifidobacterium spp.* (Chr. Hasen Laboratories), en forma de cultivo puro liofilizado, el cual debía ser reconstituido, inoculando el 9 % (p/v) de dicha cepa en cada de los tubos de ensayo con tapa de rosca (seis repeticiones), los cuales contenían caldo MRS previamente estéril y al mismo tiempo se procedió a adicionar 0,05% (p/v) de L-Cisteína HCL constituyéndose una unidad experimental. De igual manera fue inoculado otros seis tubos con tapa de rosca que contenían el mismo caldo estéril, pero le fue añadido L-Cisteína, manteniendo la misma concentración, conformándose la segunda unidad experimental. Posteriormente se procedió a incubar bajo condiciones anaeróbicas a una temperatura de 37 °C durante 24 horas. Una vez transcurrido este período de tiempo, se procedió a transferir todo el contenido de los tubos incubados a otra batería de tubos con tapa de rosca que contenían caldo estéril y el suplemento correspondiente, manteniéndose la concentración inicial de 9 %;

incubándose nuevamente bajo las condiciones ya descritas. Transcurridas las 24 horas el microorganismo ya se encuentra reconstituido, por lo tanto se comenzó a estimar el crecimiento bacteriano mediante espectrofotometría, realizando lecturas de absorbancia a 600 nm en un espectrofotómetro digital marca Baush Lomb modelo 20, a cada tubo que complementa ambas unidades experimentales, obteniéndose así la densidad celular y al mismo tiempo, se realizó una siembra por profundidad en placas de Petri desechables, a partir de las diluciones  $10^{-6}$ ,  $10^{-7}$  y  $10^{-8}$  preparados con agua peptonada al 0,1 % también para cada tubo de ensayo de ambas unidades experimentales. En cada placa se aplicó una sobrecapa de agar para garantizar las condiciones anaeróbicas, además de adicionarle a dicha cubierta un agente antibiótico denominado Polimixina B al 0,005 % (p/v), luego las placas fueron incubadas en condiciones anaeróbicas del sistema de jarra Gaspak BBL a 37 °C durante 72 horas, quedando así determinado el número de células viables.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el cuadro 1, se observa que las muestras donde se adicionó el suplemento HCL- Cisteína registra menores valores en; absorbancia y Log ufc/g de *Bifidobacterium spp.* que las unidades experimentales tratadas con L-Cisteína, siendo esto indicativo que el mayor crecimiento microbiano ocurrió en las unidades experimentales con el suplemento L-Cisteína.

Al realizar un análisis de correlación de Pearson a las respuestas bajo estudio se encontró que existía una alta correlación negativa entre la respuesta Tramitancia y absorbancia (-0,9903); mientras que la correlaciones de la tramitancia y absorbancia con respecto al Log ufc/g no tenían efecto significativo. (Probabilidad > 5%)

**Cuadro 1.** Valores de espectrofotometría y recuentos del *Bifidobacterium spp.* por efecto de los reductores de oxígeno.

Suplemento	absorbancia	Tramitancia	Log ufc/g
<b>HCL- Cisteína</b>	1,769	1,7	9,20
	1,856	1,4	8,48
	1,866	1,4	8,48
	1,894	1,3	8,60
	1,856	1,4	8,48
	1,888	1,3	8,48
<b>L_ cisteína</b>	1,872	1,4	8,90
	1,950	1,1	9,00
	1,981	1,1	9,26
	1,999	1,0	9,00
	1,999	1,0	9,30
	1,936	1,2	9,18

### Análisis de la respuesta Recuento *Bifidobacterium* spp. (Log ufc/g).

Para comprobar si existe diferencia estadística significativa se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis (K-W), ya que los datos de la respuesta Log ufc/g no cumplieron con los supuestos del análisis de la varianza. Cochran's =0,92 y Bartlett's =1,84 tienen efecto significativo, es decir no existe varianza constante en los datos. Al verificar la normalidad se encontró valores superiores al rango -2 y 2. De curtosis y sesgo estandarizada expuesto por ascombe y tukey, (1953).

Los resultados del análisis de varianza de K W y pruebas de medias de rangos se observa en el cuadro 2 y 3, respectivamente. Del cuadro 2, se puede inferir que existe diferencia significativa entre los suplementos utilizados para el crecimiento del *Bifidobacterium* spp. Con un nivel de confianza del 5%. Al estudiar el cuadro 3. Se observa que no existe homogeneidad entre los grupos, es decir, son diferentes estadísticamente. Esto indica que el suplemento L-Cisteína por poseer el mayor rango de media es el que causa un efecto mayor sobre el crecimiento del *Bifidobacterium* spp., bajo las condiciones de estudio. Resultados semejantes encontró Caliccia et al., (1993) donde sustituyó HCL Cisteína por L- Cisteína como suplemento logró mayor tasa de crecimiento de organismos probióticos. Payne et al., (1999) contrariamente reportó un efecto inhibitor de crecimiento en medios selectivos con L- Cisteína.

**Cuadro 2.** Análisis de varianza de K-W para rangos del recuento en log ufc/g del *Bifidobacterium* spp. Por efecto de los suplemento. HCL y L -Cisteína.

FV	gl	SC	CM	$\chi^2$	P
Suplemento	1	65,53	65,53	9,05	0,01
error	10	72,17	7,22		
Total	11	137,50			

### Análisis de la respuesta Tramitancia y Absorbancia.

En el cuadro 4, refleja las pruebas de rangos múltiples por Duncan al 95% aplicadas a las variables tramitancia y absorbancia. Al visualizar la columna de grupos homogéneos se observó que para ambas variables no existía diferencia entre grupo, es decir que no hay efecto alguno de los suplementos adicionados sobre las respuestas tramitancia y absorbancia, lo cual indica que estas variables no explican directamente el crecimiento del microorganismo.

**Cuadro 3.** Comparación de las medias de los rangos del recuento en log ufc/g del *Bifidobacterium* spp. Por efecto de los suplemento. HCL y L -cisteína.

Respuesta	Suplemento	Medias	Grupo Homogéneos
Absorbancia	L -cisteína	1,85	I
	HCL-cisteína	1,85	I
Tramitancia	L -cisteína	1,42	I
	HCL-cisteína	1,42	I

**Cuadro 4.** Comparación de medias para las respuestas: Tramitancia y absorbancia aplicando Duncan al 95%

Suplemento	Rangos de medias	Homogeneidad de grupos
L-cisteína	8,83	I
HCL-cisteína	4,17	II

## CONCLUSIONES

- Existe diferencia significativa en el crecimiento de *Bifidobacterium* spp. por efecto del agente reductor de oxígeno.
- El mayor efecto sobre el crecimiento del microorganismo ocurrió en las unidades tratadas con L-Cisteína,
- No existe diferencia significativa entre el crecimiento (ufc/g) del microorganismo y la tramitancia del medio.
- No existe correlación significativa entre el crecimiento (ufc/g) del microorganismo y la absorbancia del medio.
- Las respuestas tramitancia y absorbancia no poseen sensibilidad para indicar los cambios por crecimiento del *Bifidobacterium* spp.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASCOMBE, F.J. AND TUKEY, J.W. 1963. The examination and analysis of residuals. *Technometrics* 5 (2): 141 -160
- HOOVER, D.G. 1993 *Bifidobacteria: activity and potential benefits.* *Food Technology.* 47, 120-124.
- HUGHES, D. AND HOOVER, D. 1991. *Bifidobacteria: Their Potential for Use in American Dairy Products.* *Food Technology.* 45 (4). 74-83.

- ISHIBASHI, N. AND SHIMAMURA, S. 1993 Bifidobacteria: research and development in Japan. *Food Technology* 47, 126-135.
- PAYNE, J.F., MORRIS, A.E.J. AND BEERS P. 1999 Evaluation of selective media for the enumeration of *Bifidobacterium* spp. in milk. *Journal of Applied Microbiology* 86, 353-358.
- SALMINEN, S., ISOLAURI, E. AND SALMINEN, E. 1993. Clinical uses of Probiotics for Stabilizing the Gut Mucosal Barrier Successful Strains and Future Challenges. *Antonie Van Leeuwenhoek*. 70: 347-358.
- SAMONA, A. AND ROBINSON, R.K. 1991 Enumeration of Bifidobacteria in dairy products. *Journal of the Society of Dairy Technology* 44, 64-66.
- TAMINE, A., MARSHALL, V. AND ROBINSON, R. 1995. Microbiological and Technological Aspects of Milk Fermented By Bifidobacteria. *Journal of Dairy Research*. 62, 151-187.

**EFFECTO DE LA OSCILACIÓN MERIDIONAL (ENSO) Y LA TEMPERATURA  
SUPERFICIAL DEL OCEANO ATLÁNTICO SOBRE LA DISTRIBUCIÓN  
ESPACIO-TEMPORAL DE LAS LLUVIAS EN EL ESTADO COJEDES**

**EFFECT OF THE SOUTHERN OSCILLATION (ENSO)  
AND THE SUPERFICIAL TEMPERATURE OF THE ATLANTIC OCEAN ON THE  
SPACE-TEMPORARY DISTRIBUTION OF THE RAINS IN THE STATE COJEDES**

*Jorge Millano<sup>1</sup>; Franklin Paredes<sup>1</sup>; Iraida Vivas<sup>3</sup>*

<sup>(1)</sup> MSc. (UCAB). Ing. Civil (LUZ). Laboratorio de Mecánica de Suelos. Programa Ingeniería.  
Vicerrectorado de Infraestructura y Procesos Industriales.  
UNELLEZ - San Carlos. Estado Cojedes. Venezuela 2201

<sup>(2)</sup> Geógrafa (ULA). Laboratorio de Topografía. Programa Ingeniería. Vicerrectorado de Infraestructura y  
Procesos Industriales. UNELLEZ - San Carlos. Estado Cojedes. Venezuela 2201

Recibido: 16-10-2006 / Aceptado: 25-01-2007

**RESUMEN**

Esta investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de El Niño Oscilación Meridional (ENSO) y la temperatura superficial del Océano Atlántico sobre la distribución espacio-temporal de las lluvias en el estado Cojedes. Se partió de los registros mensuales en 26 estaciones pluviométricas ubicadas dentro y fuera del estado Cojedes, el Índice de Oscilación Meridional (SOI) mensual, la temperatura mensual superficial del Pacífico meridional en las regiones: Niño 1 + 2, Niño 3, Niño 4 y Niño 3.4 y la temperatura mensual superficial del Atlántico Norte y Sur (Variables Macroclimáticas) para el lapso temporal 1961-1993. Se encontró un cinturón de baja precipitación en el borde noroeste-sureste del Estado; en el eje Vallecito-Turén se dan las máximas precipitaciones. Se identificaron 6 zonas pluviométricas: este, noroeste, sur, noreste, centro-oeste y norte. Existe una tendencia a la ocurrencia de años secos al norte y noreste de Cojedes, mientras que el eje Vallecito-Turén experimenta un incipiente aumento en la ocurrencia de años húmedos. La temperatura del Atlántico Norte afecta el régimen pluviométrico del estado en forma directa (su enfriamiento se asocia a la disminución de las lluvias), por su parte el Atlántico Sur influye con una intensidad ligeramente menor pero de manera inversa (su enfriamiento se asocia al incremento de las lluvias). El SOI no afecta la dinámica pluviométrica del estado Cojedes, mientras que Niño 1 + 2, Niño 3, Niño 4 y Niño 3.4 ejercen influencia en diferentes grados de intensidad. La temperatura de las aguas superficiales del Atlántico Norte parece influir el patrón de las lluvias en todo el estado durante varios meses consecutivos con excepción del flanco norte-noroeste. El Niño 3.4 por su parte es dominante en la región montañosa, de colinas altas y altiplanicies de Cojedes. Se recomienda ampliar este estudio considerando un mayor número de estaciones.

*Palabras clave: ENSO, lluvias mensuales, estado Cojedes.*

### SUMMARY

This investigation had as objective study the effect of El Niño Southern Oscillation (ENSO) and the superficial temperature of the Ocean Atlantic on the space distribution of the rains of the state Cojedes. It was considered the monthly registrations of 26 stations located inside and outside of the state Cojedes, the Index of Southern Oscillation (SOI) monthly, the superficial monthly temperature of the southern Pacific in the regions: Niño 1 + 2, Niño 3, Niño 4 and Niño 3.4 and the superficial monthly temperature of the North Atlantic and South (Variable Macroclimáticas) for 1961-1993. A belt of low precipitation in the northwest-southeast border of the State was finding; in the axis Valley-Turén the maximum rains are given. Six regions pluviometers were identified: east, northwest, south, northeast, center-west and north. There is a tendency to the occurrence of dry years to the north and northeast of Cojedes, while the axis Valley - Turén experiences an increase in the occurrence of humid years. The temperature of the North Atlantic affects the régime of rains of the state in direct form (its cooling associates to the decrease of the rains), on the other hand the South Atlantic influences with a lightly smaller intensity but in an inverse way (its cooling associates to the increment of the rains). The SOI doesn't affect the dynamic pluviometers of the state Cojedes, while Niño 1 + 2, Niño 3, Niño 4 and Niño 3, 4 exercise influence in different grades of intensity. The temperature of the superficial waters of the North Atlantic seems to influence the pattern of the rains in the whole state during several serial months except for the sector north-northwest. The Niño 3, 4 on the other hand are dominant in the mountainous region, of high hills and plateaus of Cojedes. It is recommended to enlarge this study considering a bigger number of stations.

*Key words: ENSO, monthly rains, State Cojedes.*

## INTRODUCCIÓN

La ocurrencia de El Niño - Oscilación del Sur (ENSO) se reconoce como uno de los eventos climáticos de gran escala que más impacto producen sobre las condiciones del clima en muchas regiones del globo, provocando alteraciones de los patrones de precipitación y temperatura (Loukas y Quick, 1996). En 2005, a escala regional, las fuertes precipitaciones ocurridas durante el periodo lluvioso causaron la crecida de la mayoría de los ríos que discurren a lo largo del estado Cojedes, tal situación suscitó inundaciones en la zona sur y hasta en el mismo San Carlos. En contraparte, durante la época seca las elevadas temperaturas y escasa ocurrencia de lluvias causó la drástica reducción del caudal en los ríos que son fuente de abastecimiento de las principales ciudades. Ante este escenario, surgió la necesidad de evaluar el efecto de El Niño Oscilación Meridional (ENSO) y la temperatura superficial del Océano Atlántico sobre la distribución espacio-temporal de las lluvias en el estado Cojedes con el fin de saber hasta que punto los cambios climáticos globales influyen la dinámica de las lluvias del estado.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Caracterización de la zona de estudio

El estado Cojedes constituye la unidad de estudio; éste, se ubica geográficamente en las coordenadas Longitud Oeste  $67^{\circ} 45' 00''$  a  $68^{\circ} 59' 00''$  y Latitud Norte  $10^{\circ} 05' 17''$  a  $8^{\circ} 30' 48''$ , posee  $14800 \text{ Km}^2$  de superficie y se encuentra conformado por 9 municipios (INE, 2001) (Figura 1).



Figura 1. Ubicación geográfica del estado Cojedes.

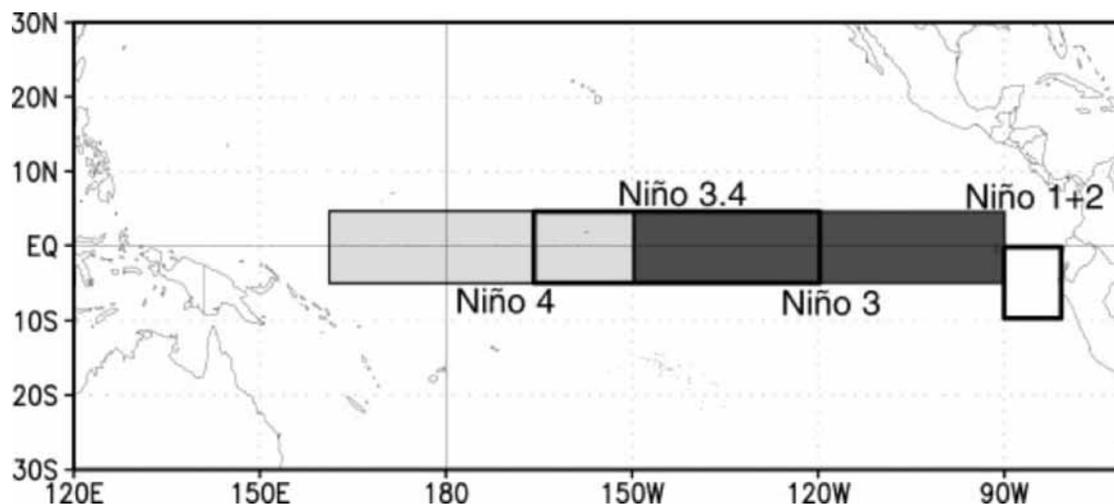
Las regiones del Pacífico meridional que se consideran en esta investigación se resumen en el Cuadro 1 y se visualizan en la Figura 2. Las regiones del Atlántico empleadas en este estudio se resumen en el Cuadro 2.

**Cuadro 1.** Regiones del Pacífico meridional donde se consideró la temperatura de la superficie del mar.

Nombre de la región	Coordenadas geográficas
Niño 1 + 2	0° - 10° Sur y 90° - 80° Oeste
Niño 3	5° Norte a 5° Sur y 150° - 90° Oeste
Niño 4	5° Norte a 5° Sur y 160° Este a 150° Oeste
Niño 3.4	5° Norte a 5° Sur y 170° - 120° Oeste

**Cuadro 2.** Regiones del Atlántico donde se consideró la temperatura de la superficie del mar.

Nombre de la zona	Coordenadas geográficas
Atlántico Norte	5° - 20° Norte y 60° - 30° Oeste
Atlántico Sur	0° - 20° Sur y 30° Oeste - 10° Este



**Figura 2.** Regionalización del Pacífico meridional donde se consideró la temperatura de la superficie del mar.

### Fases de la investigación

**Fase 1.** Caracterización histórica de las lluvias en el estado Cojedes.

En el MARN San Carlos, se recabaron los registros históricos de la precipitación mensual en

las estaciones pluviométricas: Arismendi, El Baúl Carretera, Los Naranjos, Bejuma-Panamericana, Caño Benito, El Retazo, San Rafael de Onoto, Colonia Turén, Galera, Guabinas, Guayabito, Hato Las Babas, Hato Paradero, Jobalito, Las Vegas-Charcote, Aguadita, Manaure, Manrique, Mata Oscura, Morena, Palo Quemado, Pao Oficina, Pao Planta, Tinaco, Vallecito y Cojeditos. Las estaciones tienen en común registros entre 1972 y 1983, en tal sentido se caracterizó la precipitación puntual a través del promedio mensual y su desviación estándar en el referido periodo; la distribución espacial se evaluó trazando isoyetas de la precipitación puntual promedio por mes con el software Surfer 8.0

Se aplicó un Análisis Factorial de Componentes Principales (Burke y Rao, 2000; Jambu, 1991) entre 1972 y 1983 a fin de establecer 6 zonas con comportamiento pluviométrico homogéneo. De cada zona se seleccionó la estación pluviométrica como la serie histórica más larga (en lo sucesivo denominada estación índice). El Cuadro 3 muestra las estaciones definitivas que se emplearon para caracterizar la precipitación anual en las regiones. Tomando en consideración el Cuadro 3 se definió un periodo de estudio igual a 32 años (1961 a 1993), el cual es el lapso común de las estaciones índices.

**Cuadro 3.** Estaciones pluviométricas consideradas para evaluar la lámina de lluvia mensual y anual sobre el estado Cojedes.

Zona	Estación pluviométrica referencial	Serie disponible
Centro-oeste	Vegas – Charcote (1050691,367 N; 540096,093 E)	1967-2003
Este	Los Naranjos (981618,205 N; 663881,452 E)	1952-2002
Noreste	Manaure (1101914,288 N; 630933,471 E)	1958-2004
Noroeste	San Rafael de Onoto (1070167,547 N; 503199,73 E)	1946-2004
Norte	Bejuma-Panamericana(1123918,905 N; 580943,94 E)	1961-2004
Sur	El Baúl Carretera (994334,049 N; 582717,098 E)	1961-2003

**Nota:** ubicación en coordenadas UTM (referido a Datum Horizontal La Canoa)

El área de influencia de las estaciones índices se calculó empleando el Método de los Polígonos de Thiessen (Guevara y Cartaya, 2004). En base del Análisis Factorial de Componentes Principales se supuso que el comportamiento pluviométrico de una estación índice es equivalente al de todas las estaciones incluidas en la zona (en lo sucesivo denominada zona pluviométrica).

La variación temporal y espacial de las precipitaciones en el estado Cojedes se estudió en

función del promedio aritmético y el coeficiente de variación de la lluvia en las zonas pluviométricas tomando como base las décadas 1961-1971, 1972-1982 y 1983-1993 (análisis decadal, Martelo, 2004). A fin de visualizar el comportamiento espacio-temporal de las lluvias decadales se elaboró mapas isoyéticos con los promedios pluviométricos anuales por década en las zonas.

**Fase 2.** Relación espacial entre la precipitación mensual sobre el estado Cojedes y las Variables Macroclimáticas

Los valores promedios mensuales de las Variables Macroclimáticas (VM) se obtuvo de Internet en la página Web: [www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices). Se calculó el coeficiente de correlación de Pearson (periodo 1961 a 1993) entre los registros mensuales de precipitación (en cada estación índice) y los registros mensuales de las VM: Índice de Oscilación Meridional (SOI), temperatura superficial del Pacífico meridional en las regiones: Niño 1 + 2, Niño 3, Niño 4 y Niño 3.4, temperatura superficial del Atlántico Norte y temperatura superficial del Atlántico Sur.

A fin de evaluar el efecto espacial de las VM sobre la precipitación del estado Cojedes se elaboró mapas de las VM más influyentes, tomando como indicador el coeficiente de correlación de Pearson.

**Fase 3.** Análisis de la relación temporal entre las precipitaciones y las Variables Macroclimáticas.

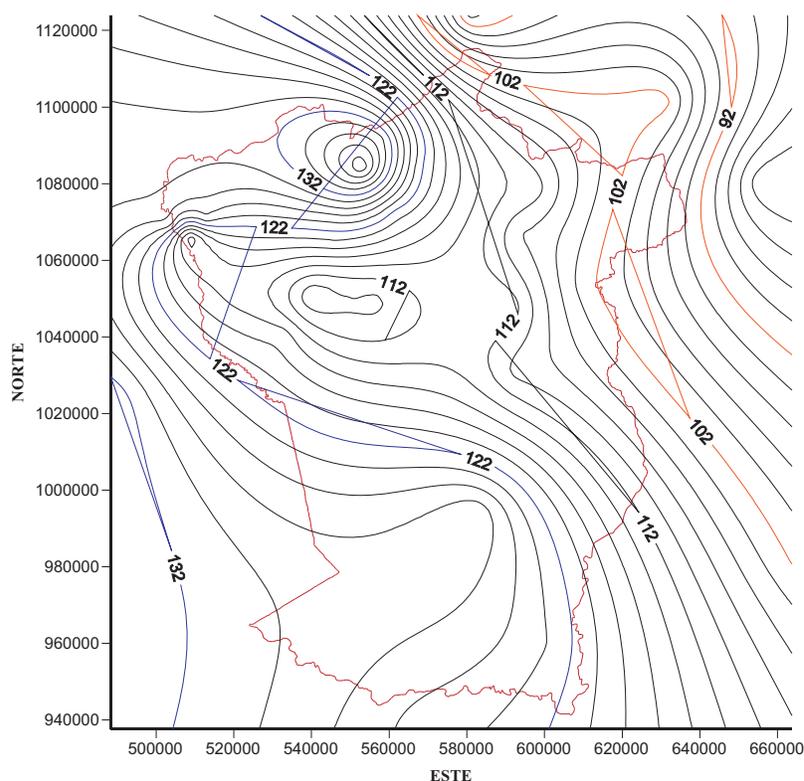
Se realizó un análisis de retardo (Judge et al., 1985) para el periodo 1961-1993 entre los registros mensuales de precipitación (variable dependiente) y los registros mensuales de las VM (variables independientes): Índice de Oscilación Meridional (SOI), temperatura superficial del Pacífico meridional en las regiones: Niño 1 + 2, Niño 3, Niño 4 y Niño 3.4, temperatura superficial del Atlántico Norte y temperatura superficial del Atlántico Sur. De esta manera se evaluó si el comportamiento de las VM en un momento dado afecta con retardo las lluvias mensuales en las regiones pluviométricas. Los retardos evaluados fueron: 0, 1, 2, 3, 4, 5 y 6 meses respectivamente.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Caracterización histórica de las lluvias en el estado Cojedes

Al evaluar la precipitación total mensual ocurrida sobre el estado Cojedes en el lapso 1972 a 1983 se encontró que Hato Paradero, Bejuma-Panamericana, Los Naranjos, Mata Oscura, Manaure, Pao Oficina, Vegas-Charcote, Caño Benito y Hato Las Babas muestran promedio entre

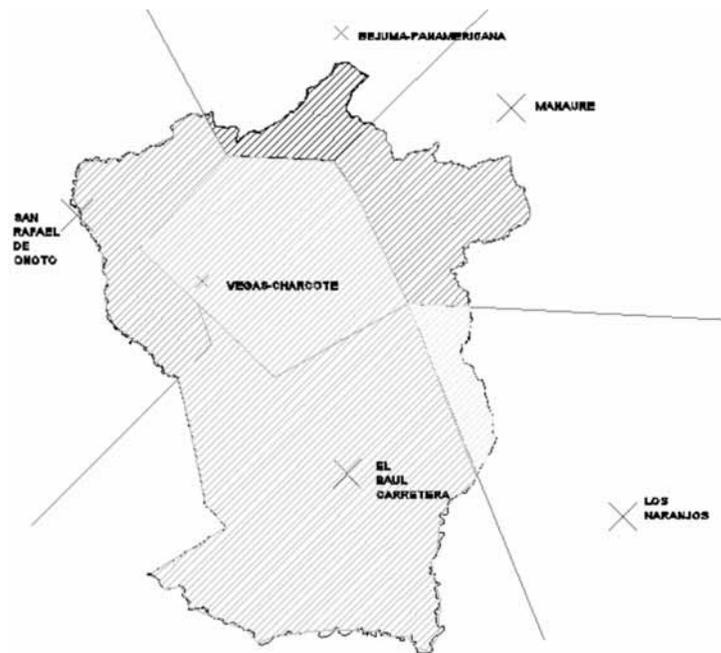
82 y 109 mm con desviación estándar de 71 a 98 mm. En rango intermedio se ubican Pao Planta, Cojeditos, Galera, Guayabito, Palo Quemado, El Retazo, Tinaco y Aguadita con precipitaciones entre 111 y 122 mm con desviación estándar de 94 a 103 mm. Jobalito, Arismendi, Morena, Guabinas, San Rafael de Onoto y Baúl carretera exhibieron precipitaciones entre 124 y 129 mm con desviación estándar de 101 a 119 mm. Las máximas precipitaciones ocurrieron en Colonia Turén, Vallecito y Manrique con registros entre 134 y 142 mm con desviación estándar de 97 a 114 mm (Figura 3).



**Figura 3.** Distribución espacial de la precipitación mensual promedio del estado Cojedes para el periodo 1972-1983<sup>1</sup>

Basándonos en los registros de lluvia promedio mensual entre 1972 y 1983 se definieron 6 zonas donde la precipitación mensual están fuertemente correlacionada entre si. Tomando como centroide las estaciones índices (cruces en Figura 4), se delimitaron las zonas con pluviometría equivalente (polígonos de Figura 4).

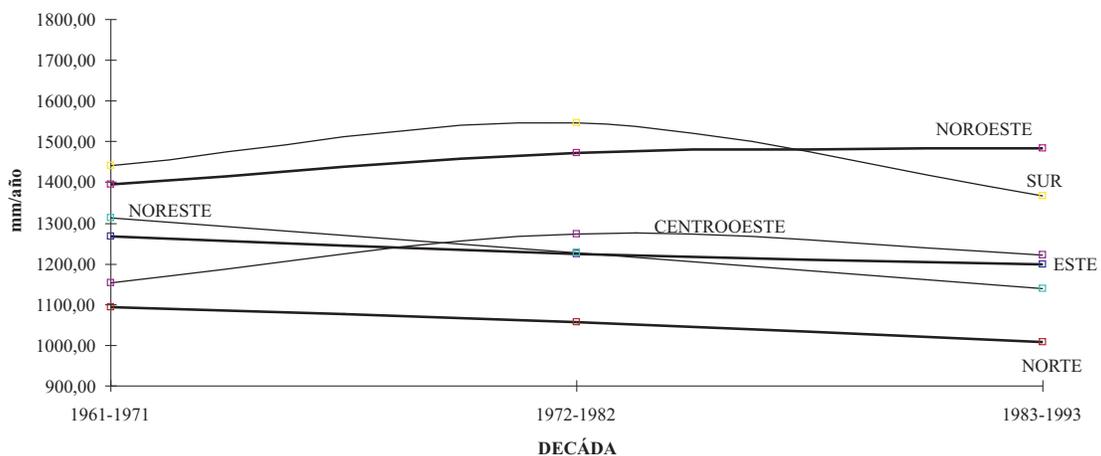
<sup>1</sup>expresada en mm/mes



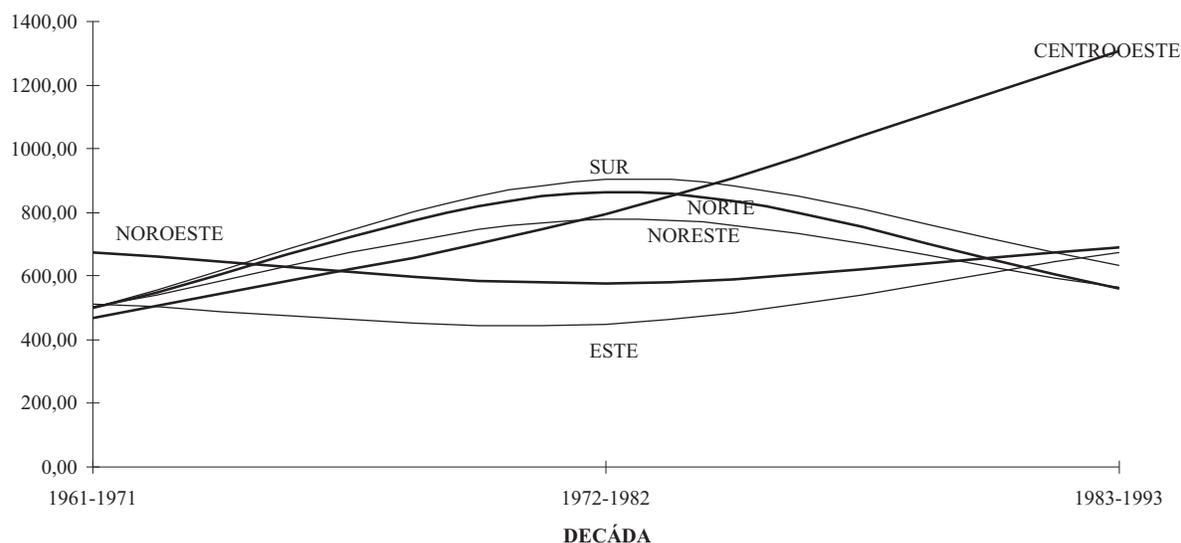
**Figura 4.** Zonificación pluviométrica del estado Cojedes para el periodo 1972-1983

Al evaluar la precipitación anual sobre las estaciones índices durante las décadas 1961-1971, 1972-1982, y 1983-1993 se encontró que el promedio anual de lluvia en la zona noroeste experimentó un ligero aumento, mientras que el resto mostró una tendencia negativa, muy evidente en las zonas norte, noreste y este (Figura 5)

En las décadas 1961-1971, 1972-1982, y 1983-1993 se encontró que la lluvia anual en la zona centrooeste experimentó valores extremos, situación que se acentuó en la última década. Las zonas sur, norte y noreste se han tornado más homogéneas (Figura 6)



**Figura 5.** Dinámica temporal del promedio de precipitación anual en las zonas pluviométricas durante las décadas 1961-1971, 1972-1982 y 1983-1993



**Figura 6.** Variabilidad de la precipitación anual en las zonas pluviométricas durante las décadas 1961-1971, 1972-1982 y 1983-1993

En términos espaciales durante la década 1961-1971 ocurrieron altas precipitaciones en el extremo sur con más de 1440 mm/año, mientras que en el centro del Estado se estableció una franja de escasas precipitaciones, que se extendió varios kilómetros hacia el noreste, con valores que oscilaron entre 1150 y 1090 mm/año (ver Figura 7). En la década 1972-1982 las precipitaciones sobre la zona sur alcanzaron valores de 1550 mm/año, lo que implica un incremento del 38 % con respecto a la década anterior; la franja de bajas precipitaciones en la zona norte se amplió a todo el flanco norte noreste con valores alrededor de los 1050 mm/año (ver Figura 8). Durante la década 1983-1993 las altas precipitaciones en la zona sur se desplazaron al oeste y su magnitud media anual disminuyó en relación con la correspondiente a la década anterior. La extensión de la franja de bajas precipitaciones se incrementó y la magnitud de las lluvias anuales descendió hasta 1000 mm/año (ver Figura 9).

Sobre la base del análisis precedente, se infiere una presunta tendencia a la ocurrencia de años secos al norte y noreste de Cojedes. La zona sur fue la más húmeda, pero presenta una tendencia a desplazarse hacia el oeste. Esta alteración en el régimen pluviométrico afecta las fuentes de los sistemas de abastecimiento de agua, pues los embalses Pao Cahinche y Pao La Balsa, así como las nacientes de los principales cursos de agua del Estado se ubican al Norte y Noreste.

### **Relación espacial entre la precipitación total mensual sobre el estado Cojedes y las Variables Macroclimáticas**

Al evaluar en coeficiente de correlación de Pearson entre las VM y la precipitación mensual

sobre las estaciones índices en el periodo 1961-1993 se encontró que la temperatura superficial mensual del Atlántico Norte afecta la dinámica pluviométrica de todo el estado, siendo la zona noreste las más influenciadas (Cuadro 4). La correlación es de tipo directa; un aumento de la temperatura del Atlántico Norte trae consigo un aumento de las precipitaciones en todas las zonas, mientras que su enfriamiento se asocia a una reducción de las lluvias. Tal vez al calentarse el Atlántico Norte se potencia la formación de nubes que son transportadas por los vientos Alisios del noreste (campo de vientos dominantes), los cuales al colisionar con los vientos provenientes del sureste incrementan la actividad de la Convergencia Intertropical afectando gran parte del estado Cojedes.

El Atlántico Norte pudiese verse afectado por grandes bloques de hielo transportados por la corriente de deriva del viento del oeste, tales bloques pueden reducir significativamente la energía térmica de las aguas desencadenando años extremos secos a lo largo del flanco noreste del estado. En contraste, un enfriamiento del Atlántico Sur se asocia al aumento de las precipitaciones en todo Cojedes, en especial en la región este, sobre el eje Vallecito-Turén que es donde se dan las máximas precipitaciones.

**Cuadro 4.** Coeficiente de correlación de Pearson entre la precipitación mensual sobre las zonas pluviométricas y las Variables Macroclimáticas para el periodo 1961-1993.

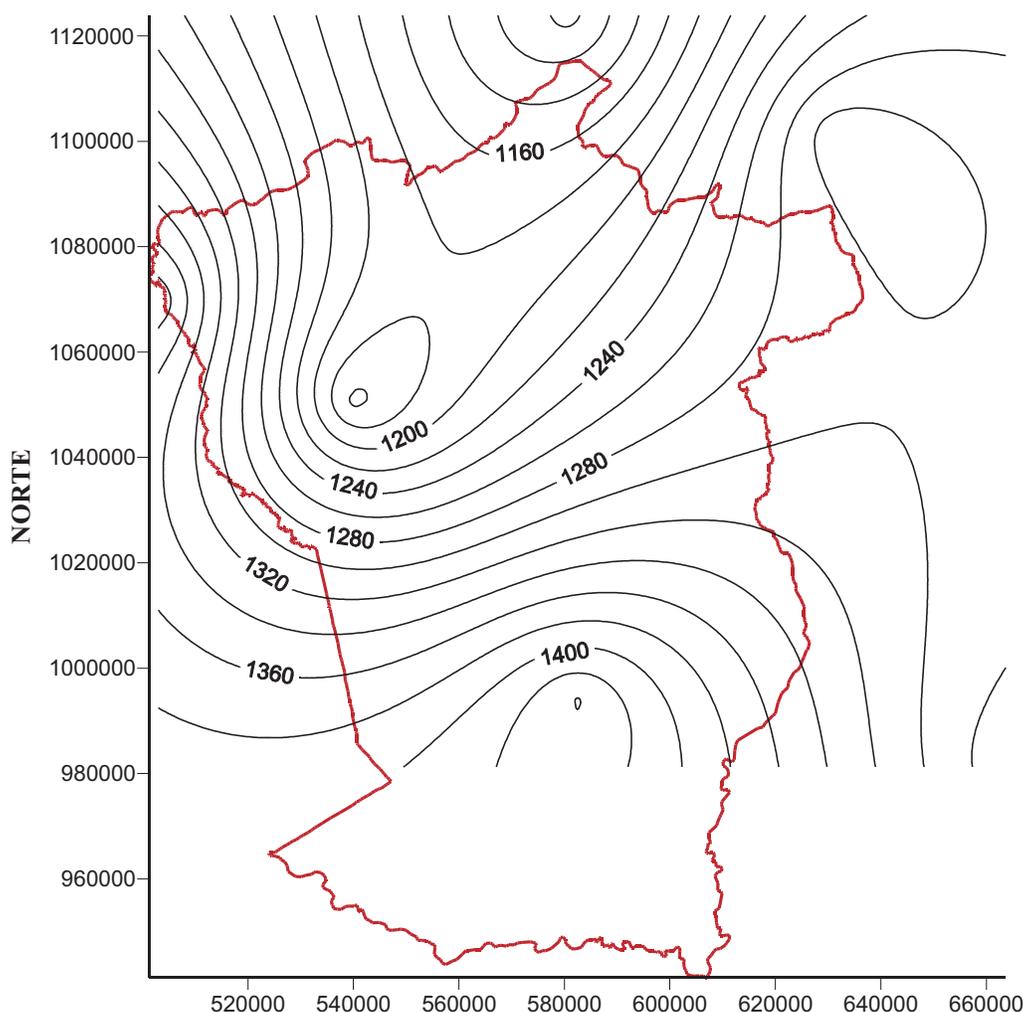
ZONA	SOI	NIÑO 1+2	NIÑO 3	NIÑO 4	NIÑO 3,4	ATLÁNTICO NORTE	ATLÁNTICO SUR
ESTE	-0,074	-0,395	-0,035	0,289	0,204	0,468	-0,431
NOROESTE	-0,055	-0,393	-0,022	0,257	0,205	0,442	-0,434
SUR	-0,006	-0,462	-0,092	0,253	0,161	0,522	-0,488
NORESTE	0,056	-0,522	-0,182	0,160	0,058	0,563	-0,506
CENTROOESTE	-0,063	-0,406	-0,039	0,272	0,193	0,465	-0,453
NORTE	0,003	-0,435	-0,097	0,205	0,125	0,479	-0,458

El SOI no afectó la dinámica pluviométrica del estado Cojedes, mientras que Niño 1 + 2, Niño 3, Niño 4 y Niño 3.4 ejercieron influencia en diferentes grados de intensidad a lo largo del estado. Solamente el Niño 1 + 2 y Niño 4 incidieron significativamente en todas las zonas, el primero de ellos en forma inversa (un enfriamiento de esta porción del Pacífico meridional se asocia a aumento de las lluvias en todas las regiones, en especial en la noreste), el segundo influye de forma directa (un enfriamiento de esta porción del Pacífico meridional se asocia a disminución de las lluvias en todas las regiones, en especial en la norte). El Niño 3 es el que menos afectó el

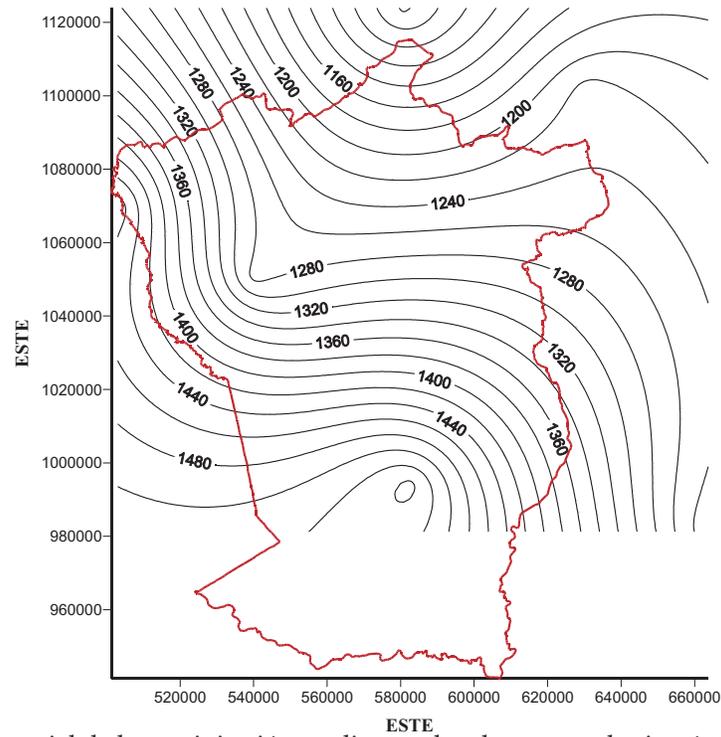
régimen pluviométrico de las estaciones índice.

### Relación temporal entre las precipitaciones y las Variables Macroclimáticas

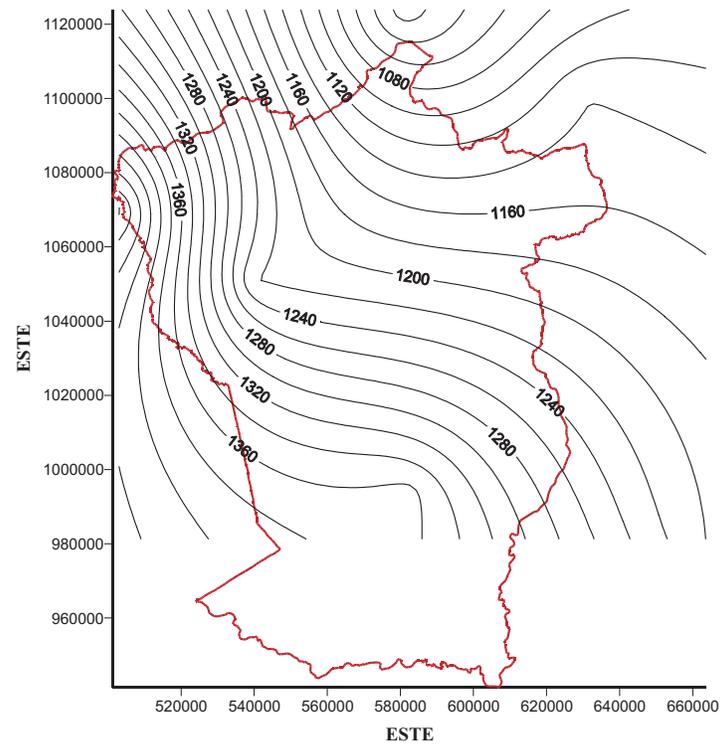
Al evaluar la correlación retardada para el periodo 1961-1993 entre los registros mensuales de precipitación y las VM se encontró que el SOI no ejerce influencia sobre el régimen pluviométrico de las regiones. La temperatura superficial de las aguas del Atlántico Norte afecta con diversos grados de retardo las zonas este, sur, noreste y centro-oeste siendo las zonas este y centro-oeste donde se mantiene su efecto con más persistencia. La temperatura superficial de las aguas superficiales del Pacífico meridional a la altura de la región Niño 3.4 incide durante varios meses sobre las zonas noroeste, noreste y norte, mientras que el Niño 3 afecta significativamente la zonas noroeste con retardo de hasta 6 meses.



**Figura 7.** Distribución espacial de la precipitación media anual en las zonas pluviométricas durante la década 1961-1971



**Figura 8.** Distribución espacial de la precipitación media anual en las zonas pluviométricas durante la década 1972-1982



**Figura 9.** Distribución espacial de la precipitación media anual en las zonas pluviométricas durante la década 1983-1993

## CONCLUSIONES

- 1.-En promedio las lluvias sobre el estado Cojedes oscilan entre 82 y 141 mm/mes, siendo el eje Vallecito-Turén donde se dan las máximas precipitaciones mensuales, mientras que los cuadrantes norte-este y este-sureste son característicos por su baja pluviosidad.
- 2.-El estado Cojedes presenta seis zonas con regimenes pluviométricos homogéneos: este, noroeste, sur, noreste, centro-oeste y norte.
- 3.-Existe una tendencia a la ocurrencia de años secos al norte y noreste de Cojedes siendo ello más homogéneo a lo largo del tiempo; mientras la zona noroeste (eje Vallecito-Turén) experimenta un incipiente aumento en cuanto a su lámina media anual, sin embargo la dinámica pluviométrica en ésta zona es notoriamente fluctuante.
- 4.-La temperatura superficial de las aguas del Atlántico Norte afecta el régimen pluviométrico de todo el estado Cojedes en forma directa (su enfriamiento se asocia a la disminución de las lluvias), por su parte el Atlántico Sur ejerce influencia con una intensidad ligeramente menor pero de manera inversa (su enfriamiento se asocia al incremento de las lluvias).
- 5.-El SOI no afecta la dinámica pluviométrica del estado Cojedes, mientras que las regiones del Pacífico Niño 1 + 2, Niño 3, Niño 4 y Niño 3.4 ejercen influencia en diferentes grados de intensidad. La temperatura superficial del Pacífico meridional en las regiones Niño 1 + 2 y Niño 4 inciden significativamente en todas las zonas, el primero de ellos en forma inversa mientras el segundo influye de forma directa.
- 6.-La temperatura de las aguas superficiales del Atlántico Norte parece influir el régimen pluviométrico en todo el estado durante varios meses consecutivos con excepción del flanco norte-noroeste. La región Niño 3,4 del Pacífico meridional, es dominante en los relieves de montaña, colinas altas y altiplanicies de Cojedes.

## RECONOCIMIENTO

Nuestro más sincero agradecimiento al Prof. César Abreu por sus acertados aportes durante la consecución del presente estudio, y a nuestro amigo Prof. Duglas Moreno, Coordinador de Investigación del VIPI, cuya perseverancia permitió la cristalización de este nuevo producto de investigación.

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Burke, T. y Rao, R. 2000. Regionalization of droughts. Water Resource 2000. Minneapolis, Minnesota, USA
- Guevara, E. y Cartaya, H. 2004. Hidrología ambiental. (1era edición) Venezuela: Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo. pp. 101-139
- Instituto Nacional de Estadística [INE] 2001. Síntesis estadística del estado Cojedes 2001.
- Jambu, M. 1991. Exploratory and multivariate data analysis. Academic Press
- Judge, G., Griffith, W., Hill, R., Luetkepohl, H, y Lee, T. 1985. The theory and practice of econometrics. New York: Wiley.
- Loukas, A. y Quick, M. 1996. Effect of climate change on hydrologic regime of two climatically different watersheds. Journal Hydrologic Engineering. 1(2). pp. 77-87.
- Martelo, M. 2004. Influencia de las variables macroclimáticas en el clima de Venezuela. Ponencia presentada en el VII Congreso Venezolano de Ingeniería Agrícola. Octubre 2004. Maracay, Venezuela.

**EFECTO DE LA EXPANSIÓN URBANA EN LA CUENCA ALTA DE LA QUEBRADA LA YAGUARA SOBRE EL CAUDAL PICO AGUAS ABAJO DE LA CIUDAD DE SAN CARLOS-ESTADO COJEDES**

**EFFECT OF THE URBAN EXPANSION IN THE HIGH BASIN OF THE GULCH LA YAGUARA ON THE FLOW PICK WATERS BELOW OF THE CITY OF SAN CARLOS - STATE COJEDES**

*Franklin Paredes <sup>(1)</sup>, Luis Rumbo <sup>(2)</sup> y Fredy La Cruz <sup>(3)</sup>*

<sup>(1)</sup> MSc.(UCAB). Doctorante de Ingeniería Ambiental (UC). Laboratorio de Física. Programa Ingeniería. Vicerrectorado de Infraestructura y Procesos Industriales.

UNELLEZ-San Carlos. Estado Cojedes. Venezuela 2201. *franklinparedes75@gmail.com*

<sup>(2)</sup> Ing. Agrícola (UNELLEZ). Laboratorio de Topografía. Programa Ingeniería. Vicerrectorado de Infraestructura y Procesos Industriales. UNELLEZ-San Carlos. Estado Cojedes. Venezuela 2201.

<sup>(3)</sup>MSc. (UCAB). Ing. Agrícola. Programa Ingeniería. Laboratorio de Materiales y Construcción. Vicerrectorado de Infraestructura y Procesos Industriales. UNELLEZ-San Carlos. Estado Cojedes. Venezuela 2201.

Recibido: 15-11-2006 / Aceptado: 27-02-2007

**RESUMEN**

En la ciudad de San Carlos ha aumentado durante los últimos años la frecuencia y severidad de las crecientes de la quebrada La Yaguara, especialmente al sur de la T05 en sentido San Carlos -Valencia; por consiguiente, esta investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de la intervención de la cuenca La Yaguara sobre los caudales picos aguas abajo de la ciudad de San Carlos. Se empleó el software de simulación hidrológica HEC-HMS 2.2.2 para recrear una tormenta de 160 minutos de duración a 10, 25 y 50 años de periodo de retorno, respectivamente. Se caracterizó su fisiografía y el régimen pluviométrico. La cuenca drena 29.49 km<sup>2</sup> y posee un relieve de colinas altas que van perdiendo altura en dirección norte sur, tiene 7 unidades hidrológicas de las cuales 5 conforman una planicie con pendientes entre 0 y 10 %; los suelos, en general, son arcillo-limoso con un índice de cobertura vegetal menor al 50 %; en la cuenca alta se desarrollan múltiples proyectos urbanísticos conjuntamente con explotaciones de ganadería extensiva. El tiempo de concentración de la quebrada a la altura de la Avenida Rómulo Gallegos es de 130.567 minutos. El régimen pluviométrico es estacional con un máximo en julio y un mínimo en enero; el clima es subhúmedo seco con una evapotranspiración real media de 2076.3 mm/año. La intensidad de las tormentas es variable, sin embargo el promedio anual se ubica en unos 60 mm/h. De concretarse los proyectos urbanístico hoy planteados se vaticinan gastos picos de 315, 426 y 505 m<sup>3</sup>/s (Tr = 10, 25 y 50 años, respectivamente), a la altura de la Avenida Rómulo Betancourt, superando ampliamente la capacidad de diseño de la mayoría de las estructuras de drenaje existentes. Los tiempos al pico de los hidrograma fueron relativamente pequeños en diferentes locaciones de la cuenca.

*Palabras claves:* Quebrada La Yaguara, Simulación hidrológica, HEC-HMS

## SUMMARY

In San Carlos' city (Cojedes) has increased during the last years the frequency and severity of the flood of the gulch The Yaguara, especially to the south of the T05 in direction San Carlos - Valencia; consequently, this research had as objective to evaluate the effect of the intervention of the basin The Yaguara on the flow pick waters under of San Carlos' city. The software of hydrological simulation HEC-HMS was used 2.2.2 to recreate a storm of 160 minutes of duration to 10, 25 and 50 years of period of return, respectively. We characterize their morphology and the regime of rains. The basin has an area of 29.49 km<sup>2</sup> and possesses a relief of high hills that lose height in address north - south, has 7 hydrological units of which 5 conform a plain with slopes between 0 and 10 %; the soils, in general, are clay-slime with a index of vegetable covering smaller to 50 %; in the high basin multiple urbanisms are developed jointly with exploitations of extensive cattle. The time of concentration of the gulch to the height of the Avenue Rómulo Gallegos is of 130.567 minutes. The regimen pluvial is seasonal with a maximum in July and a minimum in January; the climate is subwet-dry with an evapotranspiration real average of 2076.3 mm/año. The intensity of the storms is variable; however, the annual average is about 60 mm/h. Of being summed up the urbanisms picks of 315.426 and 505 m<sup>3</sup>/s are predicted (Tr = 10, 25 and 50 years, respectively), in the Avenue Rómulo Betancourt, what overcomes the design capacity of most of the structures of existents drainage. The times to the pick of the hidrograma were relatively small in different leases of the basin, for what the time to implement an evacuation during a flood hardly overcomes the two hours. We recommended making a study to characterize the floodplain of the gulch The Yaguara.

**Key words:** *Gulch The Yaguara, hydrological Simulation, HEC-HMS*

## INTRODUCCIÓN

En la década 1990-2000 el municipio San Carlos experimentó un incremento poblacional del 17,5 % lo que se tradujo en necesidad de viviendas, en especial dentro de la poligonal urbana de la ciudad homónima. La obsolescencia del Plan de Desarrollo Urbano Local (PDUL) en conjunción con la indiferencia de la Alcaldía en torno a este tema, trajo consigo un caos urbanístico. Durante los últimos seis años se han manifestado los efectos de esta política: inundaciones en sectores populosos como la Urb. Las Tejitas, Urb. Los Jardines, barrio La Yaguara, Urb. Monseñor Padilla entre otros. La afectación paulatina de la cuenca alta y media de la quebrada La Yaguara, en virtud de nuevos emplazamientos habitacionales y la construcción del Complejo Villa Olímpica, constituye un factor determinante en la ocurrencia de estos eventos, pues modifica la capacidad de infiltración de la cuenca, desencadenando crecientes torrenciales ante cualquier tormenta por leve que esta sea. Bajo este contexto surgió la imperiosa necesidad de evaluar el impacto de la expansión urbana en la cuenca alta de la quebrada La Yaguara sobre su respuesta hidrológica aguas abajo.

El caudal pico de un cauce natural puede estimarse a partir de mediciones hidrométricas históricas que se hayan realizado en un lugar de interés o cerca de él. La metodología clásica parte de los valores máximos diarios o máximos mensuales, se desarrolla una serie de máximos anuales, se ordenan de mayor a menor asignándosele un orden, se cuantifica un periodo de retorno, y una vez realizado esto, se evalúa el nivel de ajuste que tiene la serie con diferentes funciones de distribución de frecuencias teóricas: normal, lognormal, Pearson tipo III, Gamma, Log-Pearson, exponencial y valores extremos. El grado de ajuste se establece empleando el método de los momentos o el método de la máxima verosimilitud, ambos hacen uso de una prueba chi-cuadrado ( $\chi^2$ ) para evaluar la diferencia entre los valores observados y los valores predichos por la función (Albano y Guevara, 2006; Guevara y Cartaya, 2004; Mijares, 1987). Sin embargo, las estaciones hidrométricas suelen estar ubicadas en ríos de gran importancia; en tal sentido, al momento de caracterizar hidrológicamente pequeños cauces o quebradas no se dispone de registros históricos, o la longitud de la serie es muy pequeña haciéndose imposible

estimar eventos con gran tiempo de retorno, limitando severamente el empleo del método estadístico. Para dar solución a este inconveniente se utilizan métodos empíricos fundamentados en la relación lluvia-escorrentía: método de la curva envolvente, la fórmula racional e hidrogramas unitarios, éste último tiene diferentes variantes: hidrograma unitario tradicional, curva S, métodos matriciales (hidrograma unitario instantáneo) y los hidrogramas unitarios sintéticos (Dyhouse et al., 2003).

Un hidrograma de corriente viene a ser la representación gráfica del caudal como una función del tiempo en una sección específica del cauce. En cuencas donde no se disponga de información hidrométrica, pero si información climática y fisiográfica, es conveniente emplear algún software confiable de simulación lluvia-escorrentía, como por ejemplo el HEC-HMS (Rojas, 2005). El paquete Hydrologic Modeling System (HEC-HMS) permite generar un hidrograma de creciente en cualquier sección del cauce a partir de una tormenta sintética de tiempo de retorno y duración preestablecida; en tal sentido, se empleará en ésta investigación el HEC-HMS 2.2.2

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Caracterización de la zona de estudio

La cuenca hidrográfica de la quebrada La Yaguara constituye la unidad de estudio, limitando su extensión aguas abajo a la Avenida Rómulo Betancourt, a la altura de las urbanizaciones Monseñor Padilla y Los Chaguaramos. La referida unidad se ubica dentro del municipio San Carlos, y forma parte, casi totalmente, de la poligonal urbana de la ciudad de San Carlos (Figura 1). Las subcuencas tienen como puntos de cierre (sitios de interés) la Avenida Universidad (2 tramos de intersección), Urbanización Los Jardines (4 tramos que intersectan la Avenida Bolívar) y la Avenida Rómulo Betancourt (puente de entrada a la Urbanización Monseñor Padilla).

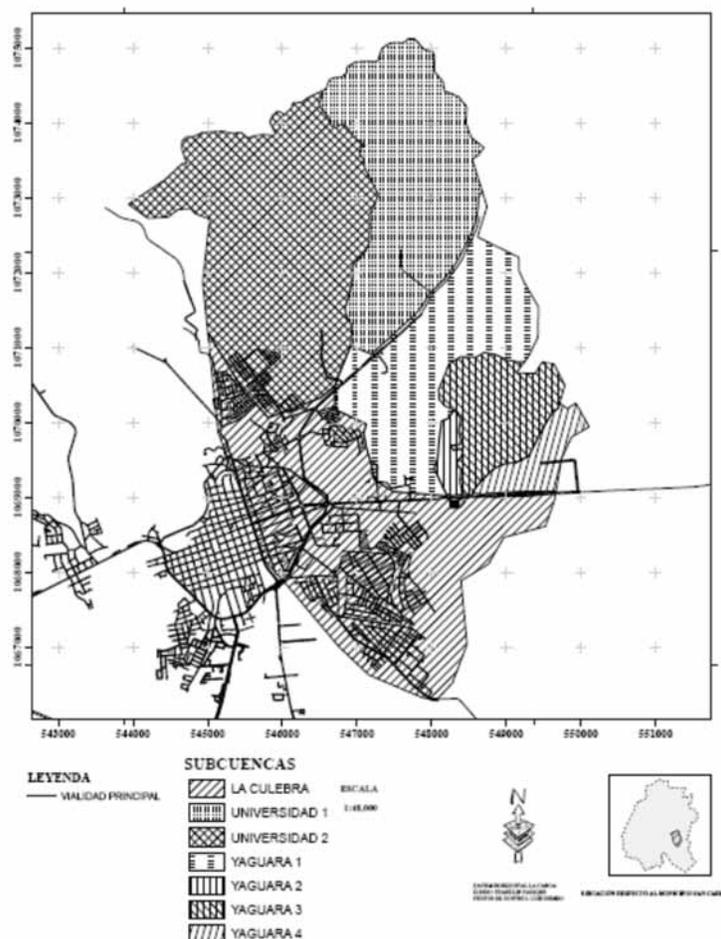
### Fases de la investigación

**Fase 1.** Caracterización morfométrica de la cuenca La Yaguara.

Se generó un mapa vectorial georeferenciado a partir de imágenes raster<sup>2</sup> de las cartas 6444ANE y 6445BSE (escala 1:25000); los polígonos, puntos de interés y demás datos geográficos se captaron con un receptor GPS PRO-XH sub-métrico. Las características morfométrica determinadas en las subcuencas señaladas en la Figura 1 fueron: área de drenaje, perímetro, longitud del cauce principal, longitud axial, pendiente del cauce principal e hipsometría general

<sup>2</sup> Nomenclatura asignada por el extinto Servicio Autónomo de Geografía y Cartografía Nacional (hoy IGVS)

de la cuenca. Para estimar las pérdidas por infiltración por el método SCS curve number se escogieron 10 locaciones a lo largo de la cuenca, se efectuó una clasificación del suelo en concordancia con el Sistema Unificado de Clasificación de Suelo (Badillo, 1975); en 6 de las locaciones se realizaron pruebas de infiltración, aplicando el método del cilindro infiltrómetro (Ministerio de Obras Públicas, 1963; Machado, 1979). La superficie asociada a cobertura vegetal y área impermeable (zona antropicamente afectada) se estableció empleando ortofotoimágenes<sup>3</sup> (6444ANE y 6445BSE a escala 1:25000, bitonal) e imágenes compuestas de acceso gratuito en [www.googleearth.com](http://www.googleearth.com). Esta información permitió seleccionar adecuadamente la clasificación hidrológica predominante en cada subcuenca. Se determinó para cada subcuenca: la abstracción inicial, el tiempo de concentración y el tiempo de retardo.



**Figura 1.** Unidades hidrológicas de la cuenca La Yaguara

<sup>3</sup> georeferenciada en datum horizontal La Canoa (PSAD56)

**Fase 2.** Caracterización del régimen pluviométrico de la cuenca La Yaguara.

Los hietogramas de tormentas requerido por Meteorologic Model, se generaron tomando como punto de partida los modelos de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) reportados por Paredes et al. (2005b) para la estaciones Morena y El Retazo. A fin de incluir la estación UNELLEZ se desarrolló su modelo IDF siguiendo la metodología propuesta por el referido autor. Los pesos ponderados asociados a las estaciones se establecieron empleando el método de los polígonos de Thiessen (Mijares, 1987; Chow et al., 1988). Se tomó 20 minutos como intervalo de tiempo para las tormentas. El tiempo de duración de la tormenta a simular fue de 130 minutos que esta por encima del tiempo de concentración de toda la cuenca. Los tiempos de retorno empleados son 10, 25 y 50 años, respectivamente. A fin de obtener una tormenta con distribución simétrica se empleó el método de los bloques alternos (Chow et al., 1988). La evapotranspiración se simuló por el método monthly average; en tal sentido, se usó los promedios mensuales de evaporación de tina reportados por ERDHCA (1999) para la estación San Carlos-UNELLEZ para el periodo 1981-1996, se desarrolló un balance hídrico aplicando el método de Thornthwaite distribuido (Machado, 1979) el cual permitió definir el clima de la zona y estimar la evapotranspiración real (ETR).

**Fase 3.** Caracterización de las ampliaciones urbanas proyectadas al corto plazo dentro de la poligonal urbana de la ciudad de San Carlos.

Se solicitaron antes los diferentes organismos públicos y privados del municipio San Carlos los proyectos habitacionales que se están ejecutando y ejecutarán en los próximos años. Los parámetros considerados en la caracterización englobaron: nombre, superficie, ubicación (coordenadas UTM) y poligonal.

**Fase 4.** Caracterización de las principales estructuras hidráulicas en la Avenida Universidad, Avenida Bolívar y Avenida Rómulo Betancourt que intersectan la quebrada La Yaguara.

Se realizaron diferentes visitas de campo para caracterizar las obras hidráulicas de drenaje emplazadas sobre la quebrada La Yaguara, las variables consideradas fueron: tipología, ubicación geográfica (coordenadas UTM), estado físico y capacidad máxima de drenaje.

**Fase 5.** Modelación del comportamiento hidrológico de quebrada La Yaguara en su intersección con la Avenida Universidad, Avenida Bolívar y Avenida Rómulo Betancourt ante tormentas con tiempos de retorno iguales a 10, 25 y 50 años, respectivamente considerando todas las ampliaciones urbanas planeadas en el corto plazo.

Tomado como referencia los resultados de las fases precedentes y empleando el software HEC-HMS se recreó una tormenta sobre la cuenca con una duración igual a su tiempo de concentración y tiempos de retorno de 10, 25 y 50 años, respectivamente. Se obtuvieron los hidrogramas de crecientes en los sitios de interés.

**Fase 6.** Evaluación de la respuesta de las principales estructuras hidráulicas en la Avenida Universidad, Avenida Bolívar y Avenida Rómulo Betancourt que intersectan la quebrada La Yaguara ante tormentas con tiempos de retorno iguales a 10, 25 y 50 años, respectivamente considerando todas las ampliaciones urbanas planeadas en el corto plazo.

Se calculó el área máxima de la sección transversal y el perímetro mojado de las estructuras de drenaje emplazadas en los sitios de interés. Se empleó la fórmula de Chezy con coeficiente de Manning (Acevedo, 1976) para estimar el gasto máximo capaz de drenar la estructura. La pendiente del fondo,  $S$ , se obtuvo del perfil longitudinal del cauce principal. El coeficiente de Manning,  $n$ , se estimó en base a las condiciones observadas en campo. Una estructura de drenaje fallará cuando el caudal pico del hidrograma de creciente supere el  $Q$  de diseño de la estructura evaluada.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Caracterización morfométrica de la cuenca La Yaguara.

La cuenca de la quebrada La Yaguara es una subcuenca del río Tinaco, y es a su vez subcuenca del río Cojedes. Posee una orientación noroeste sureste y un área de 29.49 km<sup>2</sup> hasta su intersección con la Avenida Rómulo Betancourt. Presenta un patrón fluvial predominantemente dendrídico, lo que implica la existencia de terrenos de pendiente variable y homogénea. En cuanto a su fisiografía, al norte prevalece un relieve de colinas altas que van perdiendo altura en dirección norte-sur; múltiples elevaciones aisladas (cerros) se localizan entre la local L03 (vía hacia Manrique) y la troncal T05 (vía San Carlos-Valencia) así como en las inmediaciones del sector La Morena. La cuenca La Yaguara fue disgregada en 7 unidades hidrológicas (en lo sucesivo denominadas subcuencas) en base al patrón fluvial predominante y los puntos de interés. Dichas unidades son: Universidad 1, Universidad 2, Yaguara 1, Yaguara 2, Yaguara 3, Yaguara 4 y La Culebra que representan 17.8, 26.67, 14.67, 0.98, 6.50, 2.51 y 30.76 % respectivamente, de la superficie total de la hoya.

La Figura 2 revela como en los terrenos de poca altitud hay una amplia superficie que puede ser inundada durante una tormenta, pues la velocidad de las aguas en esa región disminuirá significativamente, ocasionado su represado y posterior desborde a la planicie inundable. Dada

las características del relieve la Yaguara 2, Universidad 1 y Universidad 2 tenderán a ser torrenciales; en el resto, se infiere la ocurrencia de un lento escurrimiento. El Cuadro 1 resume las principales características morfométricas de la cuenca La Yaguara.

**Cuadro 1.** Características morfométricas de las subcuencas de la quebrada La Yaguara

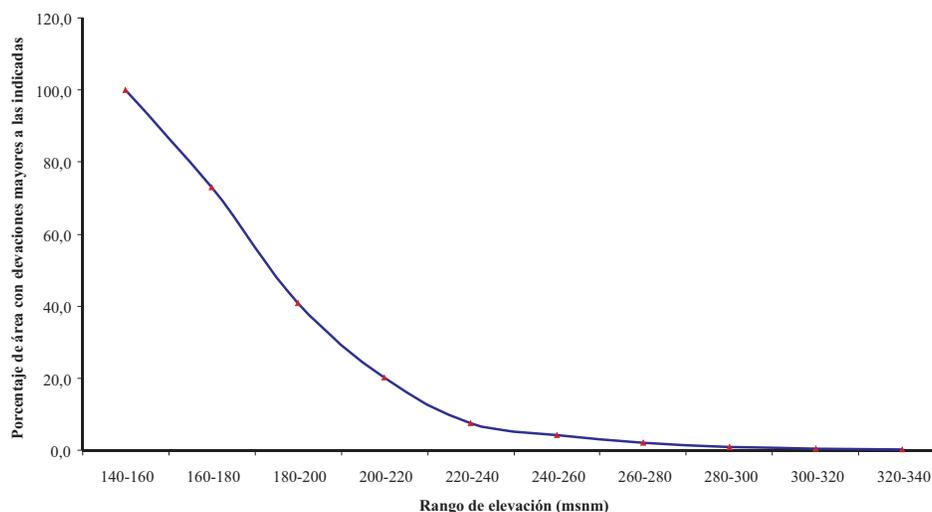
<b>Denominación</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Perímetro (km)</b>	<b>Longitud axial (km)</b>	<b>Orientación predominante</b>
Universidad 1	5.258	11.238	4.248	NE – SO
Universidad 2	7.893	13.483	3.874	NO – SE
Yaguara 1	4.326	12.024	2.396	NE – SO
Yaguara 2	0.288	2.920	1.027	N – S
Yaguara 3	1.916	6.583	2.107	N – S
Yaguara 4	0.741	4.544	1.704	NE – SO
La Culebra	9.073	16.404	5.787	N – S

El grado de cobertura vegetal es un factor muy importante, pues conforme aumente el escurrimiento superficial tenderá a disminuir. Las subcuencas Universidad 1, Universidad 2 y Yaguara 3 poseen el mayor índice de cobertura vegetal (Cuadro 2), no obstante, en las dos primeras este indicador decrece gradualmente producto de la ampliación de la Ciudad Deportiva, construcción de la Villa Olímpica y demás proyectos planteados para los años venideros.

**Cuadro 2.** Características superficiales del suelo en las subcuencas de la quebrada La Yaguara.

<b>Denominación</b>	<b>Cobertura vegetal (%)</b>	<b>Zonas intervenida por el hombre (%)</b>
Universidad 1	37,804	13,79
Universidad 2	27,774	35,36
Yaguara 1	18,687	6,87
Yaguara 2	8,647	18,39
Yaguara 3	26,361	4,73
Yaguara 4	2,851	52,89
La Culebra	15,724	67,20

**Nota:** el índice de cobertura toma en cuenta aquellas zonas que la mayor parte del año está cubierta con vegetación densa; las zonas intervenidas se asocian a terrenos destinados a explotaciones agrícolas y emplazamientos urbanos



**Figura 2.** Curva hipsométrica de la cuenca La Yaguara

A fin de evaluar la capacidad de infiltración de la cuenca La Yaguara, se efectuaron varios muestreos de suelo que permitieron caracterizarlo en cuanto a su textura y velocidad de infiltración (Cuadro 3). En general, el suelo de la cuenca es del tipo arcillolimoso, por lo que su capacidad de infiltración es baja. Partiendo del hecho de que las unidades hidrológicas Universidad 1 y Universidad 2 concentran la mayor parte del área colectora, es plausible inferir que la cuenca La Yaguara genera grandes escurrimientos debido a su suelo mal drenado.

**Cuadro 3.** Pruebas de textura e infiltrometría en diferentes locaciones de la cuenca La Yaguara

Código	Coordenadas UTM de locación	Subcuenca	Textura del suelo	Tasa de infiltración
P1	547564 E ; 1071900 N	Universidad 1	Arcilloso	Muy lenta
P2	548474 E ; 1072469 N	Universidad 1	Arcilloso	Muy lenta
P3	548425 E ; 1072296 N	Yaguara 1	Arcilloso	No realizado
P4	548426 E ; 1072041 N	Yaguara 1	Arcilloso	No realizado
P5	548282 E ; 1072009 N	Yaguara 1	Arenolimoso	Modera do
P6	546458 E ; 1071511 N	Universidad 2	Arcillolimoso	No realizado
P7	545714 E ; 1070870 N	Universidad 2	Arcilloso	Muy lenta
P8	548100 E ; 1069290 N	Yaguara 2	Arcillolimoso	Muy lenta
P9	547900 E ; 1068367 N	La Culebra	Arcillolimoso	No realizado
P10	548121 E ; 1066364 N	La Culebra	Arcilloso	Muy lenta

El Cuadro 4 resume las características generales de las subcuencas en torno a su condición hidrológica (relacionado con el índice de cobertura vegetal), uso de la tierra y clasificación hidrológica (potencial de escorrentía). El Cuadro 5 resume el tiempo de traslado del agua a lo largo del cauce principal.

**Cuadro 4.** Categorización hidrológica las subcuencas de la quebrada La Yaguara

Denominación	Clasificación hidrológica del suelo	Condición hidrológica	Uso de la tierra predominante	Curva CN ponderada
Universidad 1	C	Mala	Pastoreo	78.1
Universidad 2	C	Mala	Pastoreo y urbanismo	81.7
Yaguara 1	C	Mala	Pastoreo y urbanismo	82.2
Yaguara 2	C	Mala	Urbanismo	86.0
Yaguara 3	C	Mala	Pastoreo y urbanismo	82.2
Yaguara 4	C	Mala	Urbanismo	86.0
La Culebra	D	Mala	Urbanismo	87.5

**Cuadro 5.** Resumen del tránsito de las aguas en las subcuencas de la quebrada La Yaguara

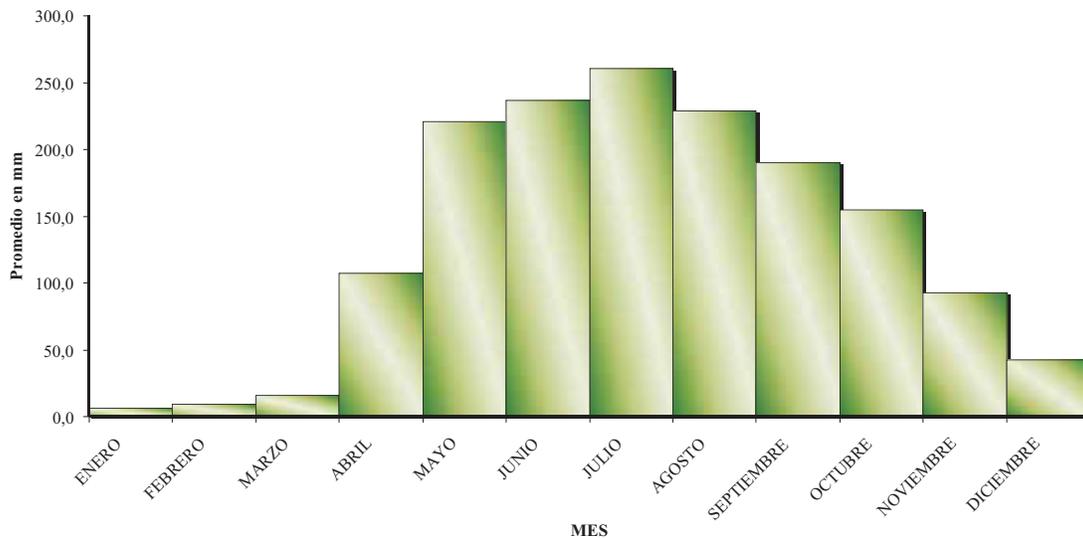
Denominación	Coefficiente de Manning *	Velocidad media (m/s)	Tiempo de concentración (min)	Tiempo de retardo (min)
Universidad 1	0.05	2.239	48.799	29.279
Universidad 2	0.05	2.154	41.106	24.664
Yaguara 1	0.03	1.325	78.120	46.872
Yaguara 2	0.035	3.165	5.457	3.274
Yaguara 3	0.03	1.792	25.888	15.533
Yaguara 4	0.03	2.382	15.769	9.461
La Culebra	0.045	0.587	98.385	59.031

**Nota:** valor ponderado en función de las características del lecho en el cauce principal

#### **Caracterización del régimen pluviométrico de la cuenca La Yaguara.**

La precipitación media anual en la cuenca es de 1576.03 mm. Las lluvias presentan un régimen estacional; el máximo se da en julio con 260.5 mm/mes y el mínimo ocurre en enero con 6.6 mm/mes. La temporada de lluvia comienza en abril desarrollándose plenamente entre junio

y julio; la temporada seca engloba los meses de enero, febrero y marzo (Figura 3). Dado que las tormentas en la zona suelen ser de corta duración, gran intensidad y cubren poca superficie se infiere que mayoritariamente son de tipo convectiva. Gran parte de los eventos de tormentas acontecen durante el periodo de lluvia, no obstante existen registros de tormentas ocurridas en el periodo seco y de transición.



**Figura 3.** Pluviograma medio mensual en la estación San Carlos -UNELLEZ para el periodo 1981- 2003

El área de influencia de las estaciones San Carlos-UNELLEZ, El Retazo y Morena cubre la totalidad de la cuenca. En El Retazo se dan lluvias de 78.57, 103.46 y 127.40 mm de lámina total asociadas a tiempos de retorno de 10, 25 y 50 años, respectivamente; en San Carlos -UNELLEZ se dan lluvias de 95.57, 106.05 y 124.64 mm de lámina total asociadas a tiempos de retorno de 10, 25 y 50 años, respectivamente; por último, en Morena se dan lluvias de 89.36, 112.76 y 134.45 mm de lámina total asociadas a tiempos de retorno de 10, 25 y 50 años, respectivamente.

### **Caracterización de las ampliaciones urbanas proyectadas al corto plazo dentro de la poligonal urbana de la ciudad de San Carlos**

Los proyectos urbanísticos dentro de la poligonal urbana del municipio San Carlos varían en cuanto a ubicación, agente promotor y extensión. El de mayor repercusión es el Complejo Villa Olímpica, pues contempla la afectación de casi un 20 % de la subcuenca Universidad 2, traduciéndose en un aumento del área impermeable, y por consiguiente, el incremento del escurrimiento superficial aguas abajo.

### **Caracterización de las principales estructuras hidráulicas en las Avenidas Universidad,**

### Bolívar y Rómulo Betancourt que intersectan la quebrada La Yaguara

En la medida que la red fluvial de la quebrada La Yaguara discurre aguas abajo pasa a través de varias estructuras hidráulicas que permiten el tránsito de las aguas durante un evento de tormenta. El Cuadro 6 resume las principales características hidráulicas de dichas estructuras.

**Cuadro 6.** Características de las principales estructuras hidráulicas ubicadas dentro de la cuenca La Yaguara

Tipología	Lugar	Ubicación (UTM)	Condición física	Capacidad máxima (m <sup>3</sup> /s) *
Cajón	Av. Bolívar	548207 E 1069025 N	Buena. Sedimento de fondo abundante.	23.124
Alcantarilla doble	Av. Bolívar	548253 E 1069053 N	Buena. Libre de sedimento de fondo	7.858
Alcantarilla simple	Av. Bolívar	548339 E 1069031 N	Buena. Sedimento de fondo abundante.	3.702
Cajón	Av. Bolívar	548460 E 1069020 N	Maleza alta Buena. Libre de presente. sedimento de fondo	112.264
Alcantarilla simple	Av. Bolívar	548691 E 1069041 N	Buena. Sedimento de fondo abundante. Maleza alta presente.	13.112
Puente	Av. Rómulo Betancourt	548048 E 1066352 N	Regular. Sedimento de fondo abundante. Maleza alta presente.	140.699
Alcantarilla triple	Av. Universidad	547192 E 1070912 N	Buena. Maleza alta presente.	35.327
Alcantarilla cuádruple	Av. Universidad	546720 E 1070490 N	Buena. Sedimento de fondo abundante. Maleza alta presente.	45.306

**Nota:** \*: obtenida a través de la ecuación de Manning, empleando la pendiente media del cauce principal

### Modelación del comportamiento hidrológico de quebrada La Yaguara en su intersección con las Avenidas Universidad, Bolívar y Rómulo Betancourt ante tormentas con tiempos de retorno iguales a 10, 25 y 50 años, respectivamente considerando todas las ampliaciones urbanas planeadas en el corto plazo

El Cuadro 7 resume los caudales máximos obtenidos durante la modelación hidrológica en los puntos de cierre de las subcuencas que conforman la cuenca La Yaguara.

**Cuadro 7.** Caudal pico simulado de la quebrada La Yaguara en los puntos de interés bajo una tormenta de 160 minutos de duración para diferentes tiempos de retorno

Denominación	Caudal máximo instantáneo (m/s)		
	Tr = 10 años	Tr = 25 años	Tr = 50 años
Universidad 1	59,24	75,57	89,37
Universidad 2	129,76	168,35	222,54
Yaguara 1 *	207,32	277,85	339,13
Yaguara 2	7,974	9,72	11,11
Yaguara 3	31,39	39,95	47,03
Yaguara 4	19,99	23,97	27,16
La Culebra	314,67	425,48	505,40

**Nota:** \* engloba Universidad 1, Universidad 2 y Yaguara 1

Evaluación de la respuesta de las principales estructuras hidráulicas en la Avenida Universidad, Avenida Bolívar y Avenida Rómulo Betancourt que intersectan la quebrada La Yaguara ante tormentas con tiempos de retorno iguales a 10, 25 y 50 años, respectivamente considerando todas las ampliaciones urbanas planeadas en el **corto plazo**.

El Cuadro 8 muestra en sinopsis la respuesta de cada una de las estructuras de drenaje existente sobre la quebrada La Yaguara ante los diferentes escenarios de tormenta. Resulta evidente que de seguir la expansión urbana a lo largo de la cuenca La Yaguara (en especial, en las subcuencas Yaguara 1 y Yaguara 2) se generarán cauces torrenciales que colapsaran casi la totalidad de las estructuras de drenaje, por consiguiente, se vaticina el desbordamiento de la referida quebrada en aquellos sitios donde la topografía del terreno lo permita.

**Cuadro 8.** Respuesta de las estructuras de drenaje ubicadas sobre la quebrada La Yaguara durante un evento de tormenta de 160 minutos de duración en función del periodo de retorno del evento

<b>Respuesta ante el evento</b>				
<b>Subcuenca</b>	<b>Tipología de la estructura</b>	<b>Tr = 10 años</b>	<b>Tr = 25 años</b>	<b>Tr = 50 años</b>
Universidad 1	Alcantarilla triple	Colapso	Colapso	Colapso
Universidad 2	Alcantarilla cuádruple	Colapso	Colapso	Colapso
Yaguara 1	Cajón	Colapso	Colapso	Colapso
Yaguara 2	Alcantarilla simple	Colapso	Colapso	Colapso
Yaguara 3	Cajón	Sin problema *	Sin problema *	Sin problema *
Yaguara 4	Alcantarilla simple	Colapso	Colapso	Colapso
La Culebra	Puente	Colapso	Colapso	Colapso

**Nota:** \* engloba Universidad 1, Universidad 2 y Yaguara 1

## CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados del presente estudio, se concluye:

1. La cuenca La Yaguara posee una fisiografía caracterizada por la predominancia de terrenos con pendientes menores al 10 %, suelos con texturas arcillolimoso, índice de cobertura vegetal menor al 50 % del área total, profundidad de la mesa de agua por debajo de los 4 m y emplazamientos urbanos de gran extensión al norte y noroeste; por consiguiente tendera a generar grandes escurrimientos antes eventos de tormentas de bajo periodo de retorno.
2. El clima es del tipo subhúmedo seco, siendo la evapotranspiración real media de 2076.3 mm/año; los eventos de tormentas generalmente se asocia al enfriamiento convectivo del aire con la consecuente formación de celdas de gran desarrollo vertical, las tormentas pueden presentarse durante el periodo seco y suelen tener una intensidad media del orden de 60 mm/h, los eventos más extremos se suelen presentar en el extremo noroeste de la divisoria.
3. De seguir en pie los proyectos urbanísticos hasta hoy planteado por el gobierno nacional, regional y el sector privado se vaticinan gastos picos de 315, 426 y 505 m<sup>3</sup>/s para tiempos de retorno de 10, 25 y 50 años, respectivamente, a la altura de la Avenida Rómulo Betancourt lo que supera ampliamente la capacidad de diseño de las estructuras de drenaje existente. Los tiempos al pico de los hidrograma son relativamente pequeños en diferentes locaciones de la cuenca, en consecuencia el tiempo para implementar una evacuación en caso de una inundación apenas supera las dos horas.
4. De presentarse una tormenta cuya duración superase los 130 minutos casi todas las

estructuras de drenaje colapsarían produciendo inundaciones en importantes avenidas, urbanizaciones y sectores populosos de la ciudad de San Carlos ubicados en el flanco sur de la troncal 05 en sentido San Carlos Valencia.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albano, L. y Guevara, E. 2006. Modelación de caudales máximos. Caso de estudio cuenca del río Caroní. Trabajo especial de grado. Programa de postgrado Ingeniería Ambiental. Universidad de Carabobo.
- Guevara, E. y Cartaya, H. 2004. Hidrología ambiental. (1era edición) Venezuela: Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo. pp. 101-139
- Mijares, F. 1987. Fundamentos de hidrología de superficie. Noriega Editores, México.
- Chow, V., Maidment, D. y Mays, L. 1988. Applied hydrologic. McGraw-Hill, New York, NY.
- Dyhouse, G., Hatchett, J. y Benn, J. 2003. Floodplain modeling using HEC-RAS. Primera edición. Haestad Press, USA.
- Empresa Regional Desarrollo Hidráulicos Cojedes (ERDHCA). 1999. Plan de ordenación y manejo de la cuenca del río San Carlos. Estados Cojedes, Yaracuy y Carabobo. Documento técnico de ERDHCA
- Guevara, E. y Cartaya, H. 2004. Hidrología ambiental. (1era edición) Venezuela: Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo. pp. 101-139
- Machado, J. 1979. Fundamentos del ciclo hidrológico. Universidad Central de Venezuela. Capítulo IV
- Mijares, F. 1987. Fundamentos de hidrología de superficie. Noriega Editores, México.
- Ministerio de Obras Públicas (MOP). 1963. Manual de clasificación de tierras con fines de riego. Documento técnico de la Dirección de Obras Hidráulicas, División de Agroeconomía del MOP.
- Rojas, R. 2005. Evaluación preliminar del modelo HEC-HMS. Centro de Estudios Forestales y Ambientales de Postgrado. Universidad de Los Andes.



**APLICACIÓN ACADÉMICA DE LA METODOLOGÍA SEIS SIGMA (6σ)  
EN LA ASIGNATURA CONTROL DE CALIDAD DE ALIMENTOS DEL PROGRAMA  
DE TÉCNICO SUPERIOR AGROINDUSTRIAL DE LA UCLA**

***Bianco Dugarte Hugo<sup>1</sup>, Gareca Oblitas Silvia<sup>1</sup>, Cabrera Erika<sup>1</sup>, Morales Pedro<sup>2</sup> y  
Arroyo Castillo Alonso<sup>3</sup>.***

Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA), Decanato de Agronomía,  
Programa de Ingeniería Agroindustrial,

<sup>1</sup> Laboratorio de Evaluación Sensorial, *biancoh2004@yahoo.com*,  
*biancoh@ucla.edu.ve* y *sgareca@ucla.edu.ve*, +58- 251-2592000;

<sup>2</sup> Departamento de Gerencia y Estudios Generales, *pemmorales@gmail.com*, +58 416-7595289

<sup>3</sup> Laboratorio de Microbiología, Barquisimeto 3001 Venezuela.

Recibido: 15-12-2006 / Aceptado: 07-06-2007

**RESUMEN**

El Seis Sigma (6σ) es la filosofía gerencial de la calidad de mayor éxito en la historia, que busca mejorar la eficacia y la eficiencia, basándose en la participación activa de la gerencia, por lo que sus resultados no han sido igualados por otras iniciativas. El Seis Sigma es métrica (mide desempeño), filosofía (mejoramiento continuo) y meta (no producir servicios o productos defectuosos). Su estructura está conformada por: directores de área, personal seleccionado (capacitado), personal de liderazgo (motivar y dirigir) y personal con actividades cotidiana y se puede integrar con otros sistemas de calidad como ISO 9000 y Calidad Total, entre otras. Este estudio fue diseñado con el objetivo de aplicar la metodología 6σ a la administración de las actividades, basada en una dinámica diseñada para los estudiantes que cursan las sesiones prácticas de la Asignatura Control de Calidad de Alimentos. A tal efecto, se conforman dos equipos constituidos por dos estudiantes como líderes, uno principal y otro suplente, los cuales discuten al finalizar la sesión de trabajo en el laboratorio por (15 min.) los resultados, graficándolos en un formato preestablecido. Los líderes exponen sus ideas y sugerencias de los resultados, observan las variaciones y buscan el aporte de los equipos participantes: en pocas palabras el mejoramiento continuo. El objetivo es obtener un cambio de “muéstrame” que se basa en teorías, a promover el “pruébalo por ti mismo” en donde se da respuesta a aquellas preguntas que son importantes para alcanzar el éxito. La dinámica propone una evaluación dirigida a fortalecer la toma de decisiones y fortalecer los tres tipos de competencias (básicas, técnicas y genéricas) propias de la carrera. A través de la aplicación de esta filosofía se espera motivar al estudiante, mejorar sus logros en términos de aprendizaje y, como consecuencia, su desempeño académico.

***Palabras Claves:*** *Seis Sigma, Calidad y Educación.*

## SUMMARY

Six Sigma (6σ) is History's most successful quality management philosophy. The reason for its unmatched success lies on the management active involvement in the improvement of both efficiency and effectiveness. Six Sigma represents metric (measure of performance), philosophy (continuous improvement), and achievement (the generation of excellent services or products). Six Sigma's human structure is composed of Area Managers, Qualified Personnel, Coaching Personnel, and Routine Activities' Personnel. Such philosophy can be easily integrated with other quality control systems such as ISO 9000, Total Quality, Deming's Management Method, etc., and its implementation in the Higher Education system is absolutely feasible.

The plan is based on a dynamic designed for the students of the laboratory sessions of the course Quality Control of Food, ascribed to UCLA's program of University Technician in Agroindustry. The dynamic consists on designating two group leaders, a principal and a substitute, who'd discuss for 15 minutes at the end of the laboratory session the results of the activities, gather ideas, suggestions, etc., from the teams involved, and graphically present the outcomes in a predetermined format. By this means, it is expected to move from the traditional, theory-based "show me" scheme, to the "try it yourself" dynamic, by which the answers to the questions required to reach success are constructed by the participants. The proposal is addressed at strengthening the decision-making competence of the participants, as well as the competences proper of the career (basic, technical and generic). Though the implementation of this philosophy it is expected to motivate the student, increase their learning achievements and, as a result, to improve their academic performances.

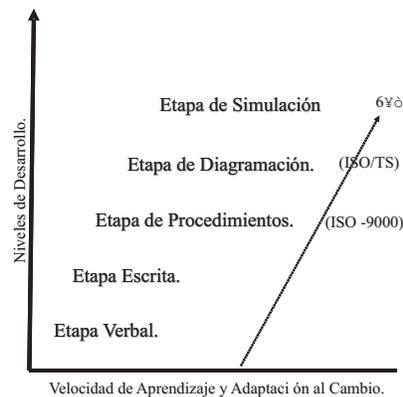
*Keywords:* Six sigma, Educational, Quality.

## INTRODUCCIÓN

Una de las áreas más importantes para la incorporación de nuevas estrategias e innovaciones es precisamente el ambiente en el cual se desarrolla la relación educando - educador, en otras palabras en el proceso enseñanza - aprendizaje. Los institutos de educación superior están en una fase de transformación constante bajo la presión de varias exigencias relacionadas con la tecnología, cambios curriculares, desempeño por competencia y corrientes filosóficas que involucran teorías de calidad.

Existen varias referencias sobre la implementación de las teorías de la calidad en la educación, entre ellas: Normas ISO, Círculo de la Calidad de Deming, Modelo de Excelencia de la Fundación Europea para la Gestión de la Calidad, todas estas teorías pueden adaptarse al educando visto como un cliente del proceso educativo, entendiéndose el concepto de calidad, como la satisfacción de las necesidades y expectativas del cliente, Evans y col (2005). En este contexto surge una nueva propuesta de calidad de reciente data, conocida como Seis Sigma (6σ), aplicada con mucha credibilidad en grupos corporativos como Motorola, General Electric y Sun Microsystems. Los líderes de éstas y otras empresas saben que Seis Sigma (6σ) abarca una gran variedad de herramientas, simples o complejas, para resolver problemas, reducir la evaluación y de esta forma satisfacer las necesidades de los clientes, Martinez (2004).

Seis Sigma (6σ) se fundamenta en una filosofía gerencial de la calidad de gran éxito en la historia, la cual pretende mejorar la eficacia y la eficiencia basándose en la participación activa de la gerencia por lo cual, sus resultados no han sido igualados por otras iniciativas. Seis Sigma (6σ) según Escalante (2004), es métrica (mide desempeño), filosofía (mejoramiento continuo) y meta (no producir servicios o productos defectuosos); dado que su objetivo es reducir los defectos hasta casi cero, Pande (2004). La Figura 1 evidencia el alto nivel de desarrollo en función de la velocidad de aprendizaje y adaptación al cambio que posee ésta metodología comparada con otras metodologías de calidad ensayadas y de mayor difusión y aplicación, Arrache (2005).



**Figura 1.** Niveles de desarrollo de las empresas y su relación con la competitividad y resultados, Arrache (2005).

Una de las ventajas de esta metodología radica en la sencillez de su implementación en diferentes empresas o unidades de servicios, cuya estructura organizacional no sea muy compleja, encontrando experiencia para una gran diversidad de actividades. La experiencia ensayada en el entorno educativo más cercano lo reporta Domenico (2004) con su obra "Implementando Nuevos Paradigmas de Gestión en Bibliotecas Universitarias: Seis Sigma como Filosofía del Gerenciamiento". Sin embargo, otras experiencias no tan cercanas al área educativa se encuentran en empresas automovilísticas, Quinello (2005), elaboración de software, Cerávolo (2005), laboratorios clínicos, De Almeida (2005).

La estructura humana de  $6\sigma$  está conformada por cuatro (4) niveles: 1.) Directores de área: Champions o Campeones; 2.) Personal seleccionado y capacitado: Master Black o Maestro Cinta Negra; 3.) Personal de Liderazgo con capacidad para motivar y dirigir: Cinta Negra y, 4.) Personal con Actividades Cotidiana: Cinta Verde, Escalante (2004). En general todos los involucrados deben exhibir características tales como: (a) Creer firmemente en el éxito de la metodología y disposición a capacitarse; (b) Confianza en la actividad a realizar motivando e involucrando a los participantes en base en metas logradas; (c) Integridad, en otras palabras, necesita de hacer lo que dice que se va a hacer (cumplir con los compromisos, mantener un alto grado de liderazgo ético, estimular la lealtad y el respeto) y (d) Paciencia y responsabilidad para modelarla toda vez que se trata de una metodología cuyos resultados se observan después de un tiempo, teniendo en cuenta que saltarse una de sus etapas pone en riesgo el éxito, De Almeida (2005). En el marco de las actividades de la enseñanza aprendizaje es posible adaptar la estructura humana a dos de los cuatro niveles propuestos por la metodología. El nivel correspondiente a Maestro Cinta Negra sería representado por el docente y el Cinta Negra por el líder o líderes que representan a cada grupo de estudiantes, buscando que cada uno de ellos desarrolle habilidades de liderazgo y otras actitudes necesarias para el logro exitoso de los objetivos académicos previsto, que contribuyan a su formación integral y a consolidar el proceso enseñanza aprendizaje, fortaleciéndolo para desarrollar otras habilidades con responsabilidad y honestidad, que hoy por hoy son la bases de la formación de un profesional bajo el enfoque de

competencias.

## METODOLOGÍA.

Para el logro del objetivo propuesto se planificaron las actividades en dos fases:

1.- Implementación de la Metodología: Se conformaron dos equipos constituidos por dos estudiantes como líderes (Cinta Negra) ambos escogido al azar de los cuales, uno de ellos es el equipo principal el cual es asignado en la práctica introductoria y otro equipo es suplente escogido en el momento de ejecutar la actividad práctica en el laboratorio por el docente (Maestro Cinta Negra). Esta selección al azar obedece a la necesidad de garantizar que todos los estudiantes como grupo, tengan la misma oportunidad de ser seleccionado independientemente de sus condiciones naturales de líder. Por su parte estos líderes, seleccionados son los responsables de dirigir y fomentar la discusión de los resultados por espacio de 15 min al finalizar cada sesión de trabajo en el laboratorio, durante las diez (10) sesiones programadas para cada lapso académico de la asignatura, culminando esta actividad con la elaboración e interpretación de los resultados utilizando un formato preestablecido. Finalmente, los líderes exponen sus ideas y sugerencias, observan las variaciones, discuten los resultados buscando el aporte de los equipos participantes, es decir, el mejoramiento continuo.

2.- Evaluación de la metodología: Al culminar las cinco (5) primeras sesiones prácticas se elaboro un instrumento (Figura 2), para medir la opinión de los estudiantes respecto a la aplicabilidad de la estrategia.



Universidad Centroccidental  
"Lisandro Alvarado"  
Decanato de Agronomía  
Programa de Técnico Superior Agroindustrial  
Dpto. de Ecología y Control de Calidad  
Asignatura Control de Calidad de Alimentos.



Estimado (a) Bachiller.

Con la finalidad de evaluar la estrategia aplicada en la asignatura basada en la metodología seis sigma (6σ) en relación a la participación como líderes en cada sección de práctica y como medio para mejorar el rendimiento académico, se le solicita que llene la siguiente encuesta

Muchas Gracias.

Asignatura: Control de Calidad de Alimentos

Lapso Académico: 2006 – 2

Fecha: \_\_\_\_\_

Instrucciones: Marque<sup>i</sup> con una **X** la calificación que a su juicio merece los aspectos enunciados. Valorada desde: 1 (muy en desacuerdo), 2 (en desacuerdo), 3 (de acuerdo), 4 (muy de acuerdo) y 5 (absolutamente de acuerdo).

Ítems		1	2	3	4	5
1	La estrategia fomenta la participación como líderes.					
2	La estrategia favorece su aprendizaje a través de las discusiones.					
3	Hace más participativa las actividades en el laboratorio.					
4	Estimula la actitud crítica en función de los resultados analizados.					
5	Estimula la autoevaluación permitiendo identificar las debilidades que posee en función a un determinado conocimiento.					
6	Fortalece los conocimientos impartidos en las clases teóricas.					
7	Le permitirá superar los miedos escénicos.					
8	Aumenta sus competencias para enfrentarse al ámbito laboral, ya que maneja situaciones aplicadas a la agroindustria.					
9	Esta estrategia pedagógica debe implementarse en otras asignaturas.					

**Figura 2.** Encuesta diseñada para medir la opinión de los estudiantes.

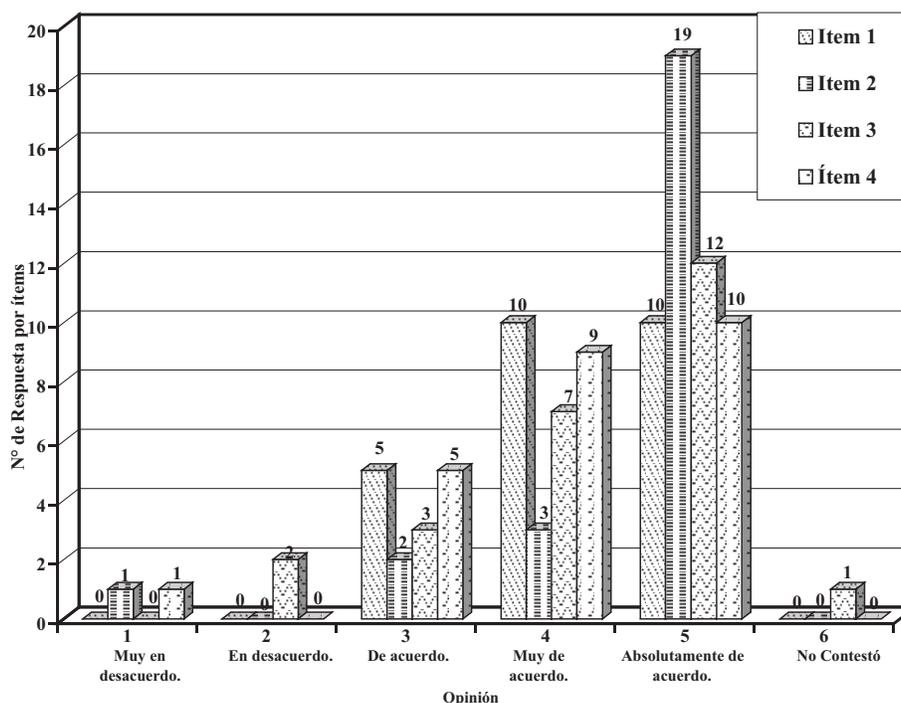
## RESULTADOS y DISCUSION.

De la opinión de los encuestados como se observa en el Cuadro 1 en lo referente a la participación, se extrae que la totalidad de los encuestados expresaron su opinión favorable (de acuerdo absolutamente de acuerdo) en que la estrategia estimula su participación como líder (ítem 1). Así mismo, veintidós (22) encuestados están a favor de que la estrategia hace más participativa la actividad en el laboratorio, tal como se observa en la Figura 3 ítem 3.

**Cuadro 1.** Opinión de los estudiantes a la aplicación de la Metodología 6 $\sigma$  en las primeras cinco sesiones prácticas de la asignatura Control de Calidad de Alimentos.

Ítems		Escala					
		1	2	3	4	5	NC
1	La estrategia fomenta la participación como líderes	0	0	5	10	10	0
2	La estrategia favorece su aprendizaje a través de las discusiones	1	0	2	3	19	0
3	Hace más participativa las actividades en el laboratorio.	0	2	3	7	12	1
4	Estimula la actitud crítica en función de los resultados analizados	0	1	6	10	7	1
5	Estimula la autoevaluación permitiendo identificar las debilidades que posee en función a un determinado conocimiento	0	1	6	10	7	1
6	Fortalece los conocimientos impartidos en las clases teóricas	0	0	5	9	11	0
7	Le permite superar los miedos escénicos	0	4	1	4	15	1
8	Aumenta sus competencias para enfrentarse al ámbito laboral, ya que maneja situaciones aplicadas a la agroindustria.	1	0	1	9	14	0
9	Esta estrategia pedagógica debe implementarse en otras asignaturas.	1	2	3	5	13	1

Interpretación de la escala: 1 (muy en desacuerdo), 2 (en desacuerdo), 3 (de acuerdo), 4 (muy de acuerdo) y 5 (absolutamente de acuerdo).



**Figura 3.** Opinión de los estudiantes respecto a la implementación de la metodología 6σ, en las primeras cinco sesiones prácticas (ítems 1 a 4).

Ítems: 1.- La estrategia fomenta la participación como líderes, 2.- La estrategia favorece su aprendizaje a través de las discusiones, 3.- Hace más participativa las actividades en el laboratorio y 4.- Estimula la actitud crítica en función de los resultados analizados.

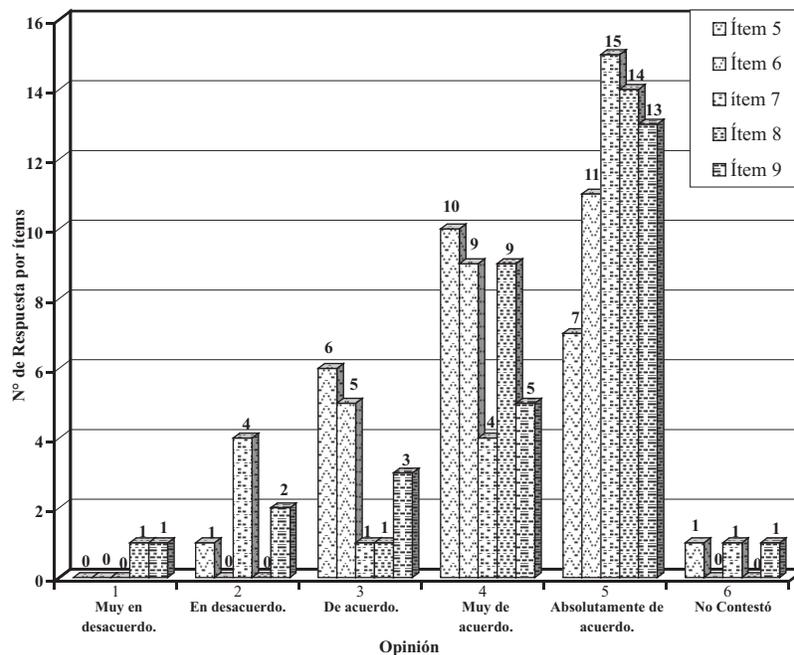
En lo referente a la dimensión conocimiento que esta medida a través de los ítems 2; 4; 5 y 6; se observa que 24 encuestados (96%) se pronunció a favor de que la estrategia favorece su aprendizaje a través de la discusiones (ítem 2) y que a su vez estimula la actitud crítica (ítem 4) tal como se aprecia en la Figuras 3 y Cuadro 2; y en ambos solo un encuestado manifestó estar en absoluto desacuerdo.

**Cuadro 2.** Porcentaje de respuestas de los primeros cuatro ítems de las encuestas aplicada a 25 estudiantes que cursan la asignatura Control de Calidad de Alimentos.

Ítems	Escala	Respuesta (porcentaje)					
		1	2	3	4	5	NC
1. La estrategia fomenta la participación como líderes		0	0	20	40	40	0
2. La estrategia favorece su aprendizaje a través de las discusiones		4	0	8	12	76	0
3. Hace más participativa las actividades en el laboratorio		0	8	12	28	48	4
4. Estimula la actitud crítica en función de los resultados analizados.		4	0	20	36	40	0

Interpretación de la escala: 1 (muy en desacuerdo), 2 (en desacuerdo), 3 (de acuerdo), 4 (muy de acuerdo) y 5 (absolutamente de acuerdo).

Respecto al ítem 5 (Figura 4), 23 estudiantes (92%) admitieron que la estrategia estimula la autoevaluación lo cual permite identificar de manera oportuna las debilidades que poseen en función a un determinado conocimiento y solo un encuestado manifestó estar en desacuerdo. De igual forma, la totalidad de los encuestados (25 estudiantes) opinó favorablemente (de acuerdo absolutamente de acuerdo) respecto a que la estrategia fortalece los conocimientos recibidos durante las clases teóricas (ítem 6).



**Figura 4.** Opinión de los estudiantes respecto a la implementación de la metodología 6σ, en las primeras cinco sesiones prácticas (ítems 5-9).

Ítems: 5.- Estimula la autoevaluación permitiendo identificar las debilidades que posee en función a un determinado conocimiento, 6.-Fortalece los conocimiento impartidos en las clases teóricas, 7.- Le permitirá superar los miedos escénicos, 8.- Aumenta sus competencias para enfrentarse al ámbito laboral, ya que maneja situaciones aplicadas a la agroindustria y 9.-Esta estrategia pedagógica debe implementarse en otras asignaturas.

Con respecto a la dimensión actitud (ítem 7), se obtuvo que 20 encuestados (80%) manifestaron favorablemente su opinión en relación a que la estrategia le permitirá superar los miedos escénicos, en tanto que el 16% opinaron estar en desacuerdo con esta aseveración y el 4% restante no emitió ninguna respuesta (Cuadro 3). En cuanto al aumento de las competencias

(ítem 8), para enfrentarse al ámbito laboral, es notorio que el 96% apoya esta aseveración y el resto se pronunció en absoluto desacuerdo. Por último, y de acuerdo a lo planteado en el ítem 9, el 84% (21 encuestados) manifiesta que esta estrategia pedagógica debe implementarse en otras asignatura, siendo necesario destacar que en este ítem se observa la mayor diversidad de opiniones tal como se observa en el Cuadro 3.

**Cuadro 3.** Porcentaje de respuestas de los ítems 6 - 9 de las encuestas aplicadas a 25 estudiantes que cursan la asignatura Control de Calidad de Alimentos.

Ítems	Respuesta (porcentaje)						
	Escala	1	2	3	4	5	NC
1. Estimula la autoevaluación permitiendo identificar las debilidades que posee en función a un determinado conocimiento.	0	4	24	40	28	4	
2. Fortalece los conocimientos impartidos en las clases teóricas.	0	0	20	36	44	0	
3. Le permitirá superar los miedos escénicos.	0	16	4	16	60	4	
8 Aumenta sus competencias para enfrentarse al ámbito laboral, ya que maneja situaciones aplicadas a la agroindustria.	4	0	4	36	56	0	
9. Esta estrategia pedagógica debe implementarse en otras asignaturas	4	8	12	20	52	4	

Interpretación de la escala: 1 (muy en desacuerdo), 2 (en desacuerdo), 3 (de acuerdo), 4 (muy de acuerdo) y 5 (absolutamente de acuerdo).

## CONCLUSIONES

La metodología Seis Sigma (6σ) adaptada a dos de los cuatros niveles, es aplicable al proceso enseñanza aprendizaje en las sesiones prácticas de la asignatura Control de Calidad de Alimentos, por cuanto fomenta el liderazgo, la participación, actitud crítica, autoevaluación y las competencias de los individuos objeto de dicha metodología. Por otra parte, fortalece el conocimiento al permitirle superar barreras que obstaculizan el aprendizaje, razón por lo que debe implementarse en otras asignaturas con su correspondiente adaptación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arrache, R. y Gary C. (2005). Guía de implementación de Seis Sigma. Trilla, Mexico, pp 7 14.
- Cerávolo, C.R. y Müller, G. F. (2005). Prometo Seis Sigma para a implementação de software de programação. *Produção*, 3(15), 322-333.
- De Almeida, B. F. y Lipp, H.M. (2005). Seis Sigma no laboratorio clínico: impacto na gestão de performance analítica dos processos técnicos. *J Brás Patol Méd Lab*, 5(41), 301 -312.
- Di Domenico, A. y De Bona, G. (2004). Implementando nuevos paradigmas de gestión en Bibliotecas Universitarias:

Seis Sigma como filosofía del gerenciamiento. *Biblio* 5(20), 40 -48.

Escalante, V. E. (2004). *Seis Sigma metodología y técnica*. Limusa, Mexico, pp 17 -22.

Evans, R.J. y Lindsay, M.W. (2005). *Administración y Control de la Calidad*. 6ª ed., Thomson Mexico, 49 -90.

Matinez, C. (2004). *La Evaluación para la mejora de la calidad de los centros educativos*. Cuaderno Monografico *Candidus*. (3), 99 -106.

Pande, P.S., Neuman, R.P., Cavanagh, R. (2004). *Las claves practicas de Seis Sigma*. McGrawll Hill. Interamericana España, pp 3 12.

Quinello. R. (2005). *Processo de Institucionalização do Seis Sigma em uma empres automobilística*. *Administração Mackenzie*, 3(7), 148-178.

**EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL VETIVER (*Vetiveria zizanioides*)  
EN LA CONSERVACIÓN DE SUELOS DE LADERAS EN PARCELAS YUQUERAS  
DE MACAPO EDO. COJEDES**

**VETIVER EFFICIENCY EVALUATION IN HILLSIDE SOIL CONSERVATION OF  
MACAPO CASSAVA FIELDS. COJEDES STATE**

*Briceño, L.\* y Bolívar, F.*

\* Fundación La Salle de Ciencias Naturales. Campus Cojedes.

lbricar@hotmail.com

Recibido: 15-12-2006 / Aceptado: 07-06-2007

**RESUMEN**

Para demostrar la eficiencia de las barreras vivas de vetiver, como sistema de conservación de suelos de laderas en parcela yuqueras de Macapo, se realiza un estudio por el lapso de dos años; en el mismo se cuantifica la erosión hídrica superficial en los suelos (inseptisoles) de una parcela de 2100 mts<sup>2</sup> y 12 % de pendiente sembrada con yuca la cual presenta dos situaciones: la mitad de ella con barreras de vetiver y la otra mitad sin barreras. El método empleado fue el Altimétrico por el cual se evaluó la pérdida de suelos por medio de las diferencias del nivel de la superficie edáfica indicado en las estacas graduadas en el lapso abril-agosto 2006. Los resultados del primer año señalan que la erosión de la parcela con vetiver fue de 183 toneladas por hectárea y las de la sembrada sin vetiver fue de 248 toneladas por hectárea. La diferencia de suelos erosionados fue de 65 toneladas por hectárea lo que representa la reducción en la pérdida de suelos de un (35,5%) originada por el uso de barreras vivas de vetiver.

*Palabras clave: Vetiver, laderas erosión*

### SUMMARY

With the purpose of demonstrating vetiver grass barrier efficiency against rainfall erosion a test was made in a farmer plot sowed with cassava located in Macapo, Cojedes state. Pluvial erosion was quantified in a 2100 Mts<sup>2</sup>, 12% slope plot, displaying two lots one with vetiver barriers and the other without barriers. Rainfall erosion losses were evaluated using Altimetry method which measure out soils losses by means of different ground level indicated on graduate stakes placed on ground surface. The study is been carried out in a two years lapse. First year results ( April-August) point out that erosion soil losses of the site with were of 183ton/h and those without barrier were 248 ton/h; there test results show a vetiver barrier efficiency of 35,5%

***Key words:*** Barriers, Vetiver, Efficiency, Soil Conservation

## INTRODUCCIÓN

Las altas cantidades de sedimentos que generan las cuencas de los más importantes ríos en los países en desarrollo es causada principalmente por la fuerte intervención de tierras de laderas.

En América Latina se señala que la limitación mas extendida de las tierras agrícolas es la erosión severa de los suelos, seguida por problemas de escasez de humedad y la baja fertilidad (Palomino y Silva, 2004)

Debido al crecimiento vertiginoso de la población y a la escasez de tierras de buena calidad en áreas planas, se ha incrementado el uso de tierras marginales para la agricultura, especialmente en condiciones de ladera, en los países en desarrollo.

En Venezuela la intervención hidrográfica constituye uno de los grandes problemas del país. Habiéndose intentado en muchas ocasiones, desarrollar programas orientados a frenar al deterioro de dichas cuencas y al mismo tiempo elevar la calidad de vida de sus ocupantes pero que no se han ejecutado.

En el Edo. Cojedes en las cuencas altas y medias de los ríos San Carlos y Tinaco, han recibido el impacto de viejas prácticas agrícolas y pecuarias que por muchos años ha venido afectando la calidad de las aguas y de los suelos de dichas cuencas así como el rendimiento del productor rural. Tal es el caso de la cuenca del río Macapo sub cuenca del río Tinaco, que presenta unas condiciones de deterioro progresivo debido al establecimiento de cultivos no conservacionistas, ganadería extensiva y la existencia de relieves muy pronunciados, situación que ponen en gran riesgo la sostenibilidad de los recursos. El manejo del suelo en la agricultura de subsistencia predominante en la zona incluye quemadas, limpiezas y laboreo en el sentido de la pendiente lo cual ocasiona importantes índices de erosión que produce en descenso en la productividad del suelo lo que obliga a los productores a recurrir a otras tierras cada dos o tres años para establecer los cultivos de los cuales dependen.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Caracterización de la zona de estudio

El trabajo se esta desarrollando en una parcela adyacente a la casabera de Macapo en las cercanías de este poblado del municipio Lima Blanco del estado Cojedes. El área corresponde con colinas medias y pendientes entre tres y veinte por ciento. Son suelos (inceptisoles y

alfisoles) frecuentemente profundo de estructura arcillosa y algunas veces francas; pedregoso moderadamente fértil con drenajes moderadamente lento.

### **Etapas de la investigación**

El estudio comprende un lapso de dos años para incluir la información de erosión de dos periodos lluviosos consecutivos. Durante el primer año se establecieron las barreras de vetiver, se caracterizo el terreno de la parcela y se hizo la primera medición con estacas graduadas.

#### **A.- Establecimiento de barreras vivas de vetiver**

El material de propagación fue donado por agricultores de las zonas cercanas al proyecto.

En el terreno de ladera de la parcela se dispusieron las barreras de vetiver en curvas de nivel para favorecer la labranza y siembra en contorno en los espacios entre barreras y la infiltración y difusión del agua de escorrentía en las barreras. El esparcimiento entre barreras se estableció con un intervalo vertical (IV) de dos (2) metros, que ha sido determinado como adecuado por los experimentados en el tema. (Banco Mundial, 1995) El intervalo vertical (IV) representa el nivel entre dos estructuras contiguas. La distancia entre barreras (tramo de superficie) se determinó en función de la pendiente o inclinación del terreno y el intervalo vertical predefinido usando el cuadro 1. (Banco Mundial, 1995); y fue de 16 metros.

El trazado de las líneas de contorno o curvas de nivel en el campo se hizo con el nivel de caballete, mediante el cual se ubicaron puntos en el terreno con igual altura y cota, procediéndose a demarcar con estacas sobre esta línea, que no tiene que seguir estrictamente la curva de nivel, una curva promedio seria efectiva; se sembraron las barreras de vetiver en surcos de unos 15 20cm de profundidad y anchura, abiertos a lo largo de la línea.

Los renuevos de vetiver se colocaron distanciados entre 10 y 15 centímetros apisonándolos firmemente para que no quedarán las raíces al aire y teniendo cuidado de cubrir la corona de las cepas. Se reemplazaron aquellos puntos donde no hubo arraigue.

#### **B.- Medición en estacas graduadas:**

La metodología consistió en la medición del proceso de erosión hídrica a través del método Altimétrico basado en la determinación de la lámina de suelos perdido mediante reglillas graduadas distribuidas en el terreno sembrado con yuca, se evaluó la perdida de suelos por medio de las diferencias del nivel de la superficie en el lapso comprendido entre el mes de abril al mes de agosto del 2006.

Para estimar la erosión hídrica superficial se procedió a calcular el promedio de las mediciones realizadas (lectura final-lectura final) en las estacas graduadas, calculando el cociente entre las sumatorias de las medidas de todas las estacas que presentaron erosión y la cantidad total de ellas.

La cuantificación del suelo erosionado en toneladas por hectárea se realizo aplicando las formulas para determinar el peso del suelo por unidad de superficie:  $P/ha(\text{ton}) = da \times fcm \times 100$  en donde

$P/ha(\text{ton})$  = peso del suelo en una hectárea en tonelada

Da: Densidad aparente del suelo en gramos sobre centímetro cúbico

fc: Profundidad del suelo en centímetro.

Se determinó la densidad aparente del terreno ( $D_a$ ) por el método del terrón parafinado. La profundidad del suelo en centímetro (fc) se corresponde con el promedio de las mediciones realizadas.

### **C.- Caracterización del terreno de la parcela.**

Las determinaciones de densidad aparente ( $D_a$ ) y las demás propiedades físico-químicas de la parcela la hizo el laboratorio de suelos Ediagro Flasa Campus Cojedes. La descripción por capacidad de uso y taxonómica se hizo en base al estudio de capacidad de uso de los suelos de Cojedes realizado por Strebin et al. (1969, citado en Palomino y Silva, 2004) y de observaciones de campo realizadas por el investigador.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

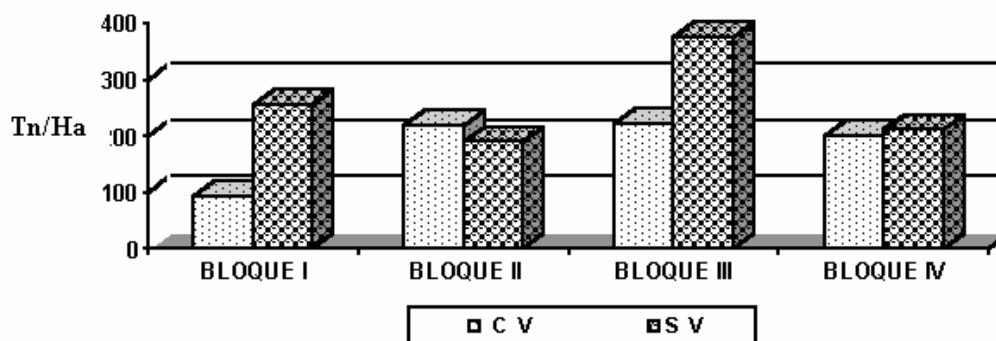
Los resultados de pérdidas de suelos obtenidos en el ensayo muestran la tendencia de que suelos yuqueros con barreras vivas de vetiver pierdan menos suelos que el que se maneja sin barreras, sin embargo se puede observar en la figura 1 dos situaciones que ameritan ser comentadas: una en el bloque donde la pérdida de suelos del área sin barreras duplica la de con barreras lo cual se aproxima a la eficiencia esperada según experiencias previas.

Otro aspecto interesante de observar se presenta en el bloque dos, donde la pérdida de suelos en el área con barreras fue ligeramente mayor que la de con barreras, esto fue debido entre otras causas a que cuando se desmalezó el área sin vetiver se le cubrió con los restos vegetales lo cual ofreció una protección que redujo la erosión a niveles tan buenos o mejores que el mismo vetiver (Sociedad de Conservación Aragua, 1997). También el corte tardío de la maleza pudo haber tenido su influencia en este sentido.

Aunque se confirman las observaciones realizadas en el país por Andrade y Rodríguez, 2002; y Palomino y Silva, 2004 de que las pérdidas de suelos se reducen en gran proporción con barreras vivas de vetiver; la eficiencia que según estos mismos autores deberían ser de alrededor del 85% solo alcanzo en este caso el 35% de efectividad al compararlas con las parcelas sin barreras. Tal situación fue causada porque al momento de la evaluación, las barreras de vetiver solo tenían diez meses de establecidas por lo que no habían alcanzado el ancho óptimo ni habían establecido el cierre del cerco; puesto que mientras más ancha sea la barrera mayor es su eficiencia en reducir las pérdidas (Neibling y Alberts, 1979, citado por Andrade y Rodríguez, 2002).

Los valores de erosión obtenidos en este trabajo, aunque es consistente en cuanto mantienen una tendencia esperada resultan demasiado altos considerando el hecho de que tan solo se maneja una pendiente de 12% que al compararla con el índice de erosión obtenido en una parcela de erosión con pendiente de 35% y en condiciones de suelos desnudos la cual arroja un valor de índice de erosión ligeramente inferior al máximo obtenido en este proyecto (Palomino y Silva, 2004) considerando además que estas parcelas nunca estuvieron desprovistas de vegetación. Tan altos índices de erosión se deben posiblemente al uso de estacas demasiadas gruesas y largas y a la dificultad de las lecturas que estas ofrecían por no conservar nitidez en sus

graduaciones. También a que tal información fue tomada por estudiantes sin experiencias en la toma de este tipo de datos experimentales



**Figura 1.** Pérdida de suelo en la parcela piloto

## CONCLUSIONES

Las barreras vivas de vetiver a una distancia de 16 m son eficientes en reducir las pérdidas de suelo (y de M.O, P, K, Mg....) en un sistema de yuca de subsistencia; y el grado de tal eficiencia depende del tiempo de establecimiento que ellas tengan; mientras mayor tiempo mayor eficiencia.

El método de estacas graduadas que se estaban validando en el ensayo para medir la erosión; resulto poco practico a la hora de hacer la lecturas del nivel de suelo indicado por las mismas ya que pierden nitidez en sus graduaciones y algunas se borran por completo; también el ancho causo sedimentación en algunos casos. Se requieren estacas más estables y pequeñas como cabillas cortas o clavos que no obstaculicen el transito por al parcela ni causen sedimentación y permitan una lectura mas nítida del nivel de suelo.

También se necesita hacer lectura por lo menos mensuales para la evolución del proceso erosivo durante el lapso de observación.

Seria importante realizar otra corrida de datos en las parcelas de estudio ya que el vetiver se encuentra mejor establecido en cuanto al cerco y anchura de barreras usando para ello las cabillas de erosión durante el próximo periodo lluvioso.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrade, B, y Rodríguez, O. 2002 Evaluación de la eficiencia de barreras vivas de vetiver como sistemas de conservación de suelos en laderas. *Bioagro* 14 (3): 123-133.2002
- Banco Mundial, 1995. *Vetiver: La barrera contra la erosión*. Washington, D.C
- Palomino, R. y Silva, O. 2004. Evaluación de barrears vivas de vetiver en un sistema agrícola de barbecho de alta pendiente. Facultad de Agronomía UCV. Maracay Venezuela.
- Sociedad Conservacionista Aragua. 1997. *Vetiver: Una Planta para el Control de la Erosión y la Protección Ambiental*. Boletín Técnico # 19 Segunda Edición Maracay