

**ESCALAMIENTO DEL EQUIPO PARA PRODUCCIÓN DE EXTRACTO
ANTOCIÁNICO Y ALMIDÓN DE *Zea mays* “maíz morado” e *Ipomoea
batatas* “camote morado” OPTIMIZANDO PARÁMETROS DE PROCESO**

Scaling of equipment for production of anthocyanic extract and starch of
purple corn (*Zea mays*) and purple sweet potato (*Ipomoea batatas*)
optimizing process parameters

Segundo Seijas-Velásquez, Priscilla A. Seijas-Bernabé y Nadia S. Seijas-Bernabé

RESUMEN

Se diseñó un equipo para la producción de extracto antociánico y almidón a partir de *Zea mays* var. Canteño “maíz morado” e *Ipomoea batatas* “camote morado” empleando la técnica de escalamiento (scale up). estudio se inició con la determinación de los parámetros de proceso para la obtención de extracto antociánico de granos, coronta de maíz morado y de cáscaras de camote, empleando el diseño factorial. Por lo que primero se realizó la construcción del equipo de experimentación. Después se procedió a realizar las pruebas explorativas a escala de laboratorio evaluando las variables: relación soluto/solvente; temperatura y tiempo de extracción, siendo los parámetros de proceso: relación soluto/solvente: 1:2; temperatura de extracción: 80 0C y tiempo de extracción: 40 minutos. En base a estos resultados se determinó los parámetros de diseño para obtener el escalamiento del equipo de producción de extracto antociánico tanto para la cámara, difusor y deshidratador empleando algoritmos así como el programa Lab view. Para la producción de almidón tanto de raíz de camote morado como de los desechos de los granos de maíz morado, se empleó el método convencional, utilizando un secador solar. Obteniendo una composición total de almidón de 92 % y 89,5 % para el producto obtenido a partir de granos de maíz morado y raíz de camote morado respectivamente y el contenido total de amilosa fue de 28 % y 25 % para el almidón producido a partir de granos de maíz morado y raíz de camote morado respectivamente. Se concluye que a través de la optimización de los parámetros de proceso tiempo y temperatura de extracción se logró el diseño y construcción del equipo piloto para la producción de extracto antociánico y almidón *Zea mays* var. Canteño “maíz morado” e *Ipomoea batatas* “camote morado” empleando la técnica de escalamiento ascendente o scale up.

Palabras clave: escalamiento, extracto antociánico, almidón, camote morado, maíz morado.

ABSTRACT

In the present research its was designed the equipment in order to the production anthocyanins extract and starch starting from *Zea mays* var. Canteño , “purple corn” and *Ipomoea batatas* “purple sweet potato” using scale up's technique. Firstly one proceeded to determining the equal process parameters obtaining extract anthocyanins grains , and corn cob of sweet potato,using the design factorial technical . The once was utilized was the experimental, intervening the prototypes of equipment in order to the products's obtaining: anthocyanins extract and starch.For it that first the experimentation equipment was come from to the construction.After one proceeded to accomplish the exploratory assays to laboratory scale evaluating variables:Relation solute/solvent;Temperature and extraction time,obtaining the following process parameters:Relation solute/solvent:1:2;extraction temperature:80 0C and extraction time:40 minutes. Its determined designing parameters to obtain for scaling the extraction equipment : the chamber,diffuser and dehydrator using algorithms as well as the program Lab view.In order to the starch production, its used conventional method of dark purple sweet potato also of corn grains,utilizing a solar dryer.Obtaining a total starch composition of 92 and 89,5 % for grains of purple corn and root of sweet potatoes respectively and total contain of amilosa was 28 % and 25 % for starch for grains of purple corn and root of sweet potatoes respectively. Its concluded, that optimization of parameters process time and temperature permitted designer and constructed a pilot equipment for production anthocyanins extract and starch from *Zea mays* var. Canteño “purple corn” and *Ipomoea batatas* “purple sweet potato” using scale up's technique.

Key words: Scaling, anthocyanin extract , starch, sweet potato purple, corn purple.

⁴ Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Industrial .Universidad Nacional de Trujillo.

⁵ Escuela de Postgrado. Universidad Nacional de Trujillo.

⁶ Egresada de la Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Nacional de Trujillo.

INTRODUCCIÓN

Actualmente el uso de colorantes sintéticos en alimentos ha sido severamente cuestionado en los países desarrollados, ya que algunos reportes indican que el consumo indiscriminado de estos pigmentos está ligado con el desarrollo de enfermedades degenerativas como algunos tipos de cáncer entre otros problemas para la salud como procesos alérgicos tales como urticaria, rinitis y asma además también parece inducir y agravar síntomas de hiperactividad, especialmente en niños¹. De los colorantes que han sido prohibidos destacan los de coloración rojiza principalmente el rojo 40 (utilizado en gelatinas y diversos productos de confitería), el cual ya ha sido vetado por la Food and Drug Administration (Administración para alimentos y medicamentos de Estados Unidos), por lo que las antocianinas son una alternativa importante para sustituirlos. Las antocianinas son el grupo más importante de compuestos hidrosolubles, responsables de los colores rojos, púrpura y azul que se aprecian en flores, frutos y otras partes de las plantas. La estructura química de estos pigmentos se encuadra dentro de los compuestos fenólicos. Por años estos compuestos han sido consumidos por el hombre sin ningún efecto perjudicial evidente¹².

Su incorporación en alimentos tiene la ventaja no sólo de impartir color, sino recientemente se les ha reportado varias actividades biológicas como antioxidante, antimutagénica, anticancerígena y actividad antielastasa (evita envejecimiento) por lo que se pueden considerar como alimentos funcionales o compuestos nutraceuticos^{3,4,5}.

Una fuente de antocianinas es el maíz morado, a pesar que se pueden encontrar en otros vegetales, como la fresa, la uva o las rosas, no se encuentran en la misma concentración que en los maíces de colores (en estos hay mayor concentración)²⁵.

El maíz morado (*Zea mays*) es una variedad de maíz que tiene una coronta y granos de color morado, es originaria del Perú

y Bolivia. El extracto de maíz morado puede ser usado en productos ácidos donde se desee un color rojo. Se le puede emplear en la coloración de bebidas alcohólicas y carbohidratos, caramelos, jaleas, mermeladas, yogurt, gelatina, etc. Se obtienen generalmente del extracto de las semillas purpúreas de *Zea mays* en agua caliente o en solución acuosa acida débil \ Pero también estos pigmentos se encuentran en la coronta del maíz^{6,7}.

Ipomoea batatas cv. morado es un cultivar de camote que también contiene estos pigmentos en la cascara, las cuales son considerados desechos en la industria del procesamiento de materias primas de origen vegetal, por lo que no han sido aprovechados aún, debido al desconocimiento de sus propiedades funcionales, presentándose como un gran potencial a estudiar y explotar⁸.

Se tiene como perspectiva, que las antocianinas acumuladas en *Ipomoea batatas* cv. morado sean empleadas como un colorante natural en los alimentos como las antocianinas de maíz morado por las mismas propiedades colorantes y actividades biológicas⁸. El empleo de maíz morado y camote morado para elaborar extractos antocianínicos permitirá la industrialización de estas especies integralmente, lo que redundará en una mejora de las condiciones socioeconómicas de nuestra región, teniendo en cuenta que el mercado demandante de pigmentos vegetales corresponde a los países industrializados principalmente Estados Unidos, Canadá, Japón y los integrantes de la Unión Europea^{1,3}.

De acuerdo con la importancia de los colorantes naturales en este caso de antocianinas, en el mercado mundial y nacional y la necesidad de obtenerlos en concentrado tipo extracto seco, para facilitar su transporte y dosificación, con un tratamiento de secado bajo condiciones que no dañen el producto, se han realizado diversas investigaciones para determinar condiciones óptimas de operación en los procesos de extracción y concentración, para la obtención de este producto, diseñándose

procesos industriales que se basan generalmente en el empleo de prototipos a pequeña escala (laboratorio y piloto) para realizar el escalamiento a nivel de producción industrial^{9,10}.

En Laboratorio de CAM (Laboratorio de Manufactura) Departamento de Ingeniería industrial -Facultad de Ingeniería se ha venido desarrollando la investigación denominada “Escalamiento del equipo para producción de extracto antociánico y almidón de maíz morado (*Zea mays*) y camote morado (*Ipomoea huíalas*) optimizando parámetros de proceso” y entre sus resultados se encuentra la obtención de colorantes naturales a partir de las partes de algunas plantas comunes y nativas en el país tales como el maíz morado y camote morado. Como el estudio realizado por el equipo investigador tiene como perspectiva obtener el máxima provecho de estas especies vegetales originarias del Perú; aprovechando la cascara del camote morado y la coronta del maíz morado para la obtención de un extracto con alto contenido de antocianinas empleado no solo por sus efectos colorantes sino también por su actividad antioxidante, surge una nueva alternativa de uso de estas plantas aparte de ser productos alimenticios, serán empleados para la obtención de productos industriales. El almidón es otro de los productos a obtener a partir de estas plantas, el cual se puede destinar no solo a la industria alimenticia (gelificante y espesante), sino también textil e industria del papel como adhesivo, además es empleado en la industria farmacéutica como aglomerante y como vehículo de diversos principios activos¹¹. Siendo la propuesta de la presente investigación, la obtención de almidón a partir de los desechos o restos de los granos del proceso de extracción de antocianinas, en el caso del maíz morado en cuanto al camote se empleó solamente la raíz tuberosa, teniendo en cuenta que el proceso y equipo para la obtención de almidón de maíz y camote morado se diseñan teniendo en cuenta el tipo de proceso, materia prima y especificación del producto final^{10,12}.

Considerando la disponibilidad de materia prima en nuestra región para la elaboración de productos tales como el extracto antociánico y almidón y de la importancia de su producción se planteó el presente estudio cuyo objetivo principal fue diseñar el equipo para la producción de extracto de antocianina y almidón a partir del maíz morado y camote morado mediante la técnica de escalamiento de tipo scale up.

MATERIAL Y MÉTODOS

Determinación de los parámetros de proceso para la obtención de extracto antociánico de *Zea mays* var canteño “maíz morado” e *Ipomoea hálalas* “camote morado”.

Para la obtención del extracto antociánico de maíz morado y camote morado (bajo contenido de humedad) a nivel de laboratorio, se emplearon dos etapas: extracción y concentración-deshidratación. Fue en la primera etapa (extracción) donde se evaluaron las variables, empleando el diseño factorial, donde las variables independientes fueron el tiempo y temperatura de extracción (difusión), utilizando tres niveles: Tiempo (40,50 y 60 minutos) y la temperatura (80,90 y 100 °C), combinando ambas variables independientes como se observa en la Tabla 1.

Tabla 1. Esquema del diseño Experimental del tipo Factorial 3x3.

	A1	A2	A3
B1	A1B1	A2B1	A3B1
B2	A1B2	A2B2	A3B2
B3	A1B3	A2B3	A3B3

Donde A es tiempo de extracción y B temperatura de extracción. La combinación de letras y números que aparecen en las casillas (celdas que representen la mezcla de niveles de las variables independientes, por lo que cada celda es un grupo).

Proceso de obtención de extracto antociánico de *Zea mays* var canteño “maíz morado” e *Ipomoea batatas* “camote morado”.

En la preparación del extracto se utilizó corontas de *Zea mays*, las cuales fueron trituradas y molidas en un molino manual. También se empleó los granos del maíz, pero enteros al igual que se utilizó las cascavas de camote. La muestra pulverizada de coronta, pasó por 3 etapas o fases. Primera Etapa: Difusión, para lo cual se utilizó agua tratada, en esta etapa es en donde se investigó la temperatura y tiempo empleando el esquema de la tabla 1 siendo los valores evaluados: 80°C, 90°C y 100°C y en el caso del tiempo se empleó: 40, 50 y 60 minutos, tanto el volumen del solvente como la proporción sólido - solvente ; Segunda Etapa: Filtrado, para la obtención de extracto acuoso libre de residuos y la tercera etapa: concentración-deshidratarían al vacío, para la obtención del extracto concentrado. Con la muestra conformada por granos se procedió a colocarla en el módulo de evaporación y secado al vacío pasando por las etapas antes mencionadas y realizando los mismos ensayos. De igual manera se realizó con las cascavas de camote morado. Después se procedió a registrar cual de los grupos experimentales tuvo las mejores concentración de antocianinas contenidas en el extracto así como determinar la más óptima relación soluto/solvente determinado el rendimiento.

Proceso para obtener almidón de los granos de maíz y pulpa de camote morado

Después de haber realizado las extracciones, a partir de los granos de maíz y de la pulpa del camote se procedió a obtener almidón, por lo que se lavó la materia prima para después molerla hasta convertirla en una pasta fina, esto se realizó para el caso de los granos de maíz, mientras que para la pulpa de camote, se realizó el rallado respectivo. Las partículas obtenidas fueron colocadas dentro de depósitos y se procedió a neutralizar los azúcares reductores con hipoclorito de sodio;

con el fin de evitar el pardeamiento de la masa obtenida. Después se procedió a separar el almidón de la celulosa, mediante sedimentación, dejando repodar y decantar en depósitos hasta que se asiente el carbohidrato.

Lavado y Concentración del Almidón

“La lechada” obtenida del proceso anterior contiene proteína, materia grasa, sustancias contaminantes, etc. y sustancias insolubles como la celulosa y partículas, esta leche fue recepcionada en un depósito, por lo que se procedió a retirarle el agua, lavarla y secarla.

El almidón húmedo fue tratado mediante una corriente de aire caliente proporcionado por un ventilador centrífugo con resistores eléctricos. En las pruebas definitivas se efectuó el secado en el secador solar. Todas estas fases del proceso fueron realizadas tanto para los granos de maíz como para la pulpa de camote.

Construcción de los prototipos del equipo de extracción y secador solar

La construcción de los equipos a escala de prototipo se efectuaron a partir de los ensayos de laboratorio realizados anteriormente tal como, para la construcción el extractor o difusor que se requirió la relación óptima de pulpa/agua, determinando el rendimiento para cada relación. Para la construcción del evaporador-deshidratador se requirió determinar las características del sistema de vacío que proporcionó la temperatura de difusión determinada en el proceso de extracción y la altura máxima que debe ocupar el jugo dentro del equipo evaporador - deshidratador que no sea arrastrado por el sistema de vacío durante el proceso de concentración - deshidratación. El escalamiento se efectuó a partir de las características del prototipo después de su puesta a punto y regulado los parámetros de operación determinando los parámetros de diseño. Considerando que en la etapa de la concentración-deshidratación, se toma en cuenta la máxima altura del producto de tal manera que no produzca arrastre en el sistema de concentración, de igual manera se realizó

un estricto control de la temperatura en la etapa final (deshidratación) realizándose entre 40°C a 50°C empleando un vacío de 21" de Hg, teniendo en cuenta de disminuir el flujo calorífico, a medida que transcurre el tiempo, el producto pierde humedad debido a que su masa disminuye. El prototipo se construyó en acero inoxidable A1S1304L.

Con respecto al secador solar para su respectiva construcción se inició con la determinación del factor de eficiencia y la cantidad de calor que se transfiere al agua en el colector solar tipo plano en términos de todas las componentes que lo conforman. El secador solar fue de tipo activo ya que aprovecha el condensado caliente proveniente del deshidratador y emplea ventilador centrífugo como elemento de transferencia de masa y energía.

RESULTADOS

Los resultados registrados en la tabla 2, muestran los datos obtenidos en la primera etapa que fue la experimentación a nivel de laboratorio. Se observa los parámetros

óptimos resultantes, determinándose la cantidad o proporción empleada de materia prima (coronta y granos maíz morado y cascara de camote) y solvente (agua); relación soluto/solvente, tiempo y temperatura de difusión (etapa de extracción); así como otros parámetros predeterminados para obtener 1.0 gramo de extracto seco antociánico. Mientras que en las tablas 3 y 4 se registra la respectiva composición y porcentaje de almidón obtenido tanto a partir de granos de maíz como de la raíz de camote. A continuación se muestran los resultados obtenidos en la segunda etapa de la investigación que fue la construcción de los prototipos y el escalamiento, observándose en las figura 1, 2 y 3 los algoritmos obtenidos para determinar los parámetros de diseño de la cámara de deshidratación, del equipo de deshidratación y del difusor respectivamente, los cuales conforman el módulo experimental de obtención del extracto antociánico mientras que en la figura 4 se observa el programa obtenido en LabVIEW para determinar las dimensiones del secador solar empleado para la obtención del almidón.

Tabla 2. Parámetros óptimos de proceso obtenidos para la elaboración del extracto seco de maíz morado a partir de la coronta, granos de maíz morado y cascara de camote morado.

Gramos de materia prima	160 g Coronta, 320 g de granos, 850 g de cáscara de camote morado
Relación Soluto/solvente	1: 2
Tiempo de extracción (difusión)	40 minutos
Temperatura de extracción (difusión)	80°C
Tiempo de secado	20 minutos
Temperatura de secado al vacío	40°C
Presión de vacío (inicial)	23 pulg./Hg
Presión de vacío (final)	21 pulg./Hg
Extracto seco	1.0 g

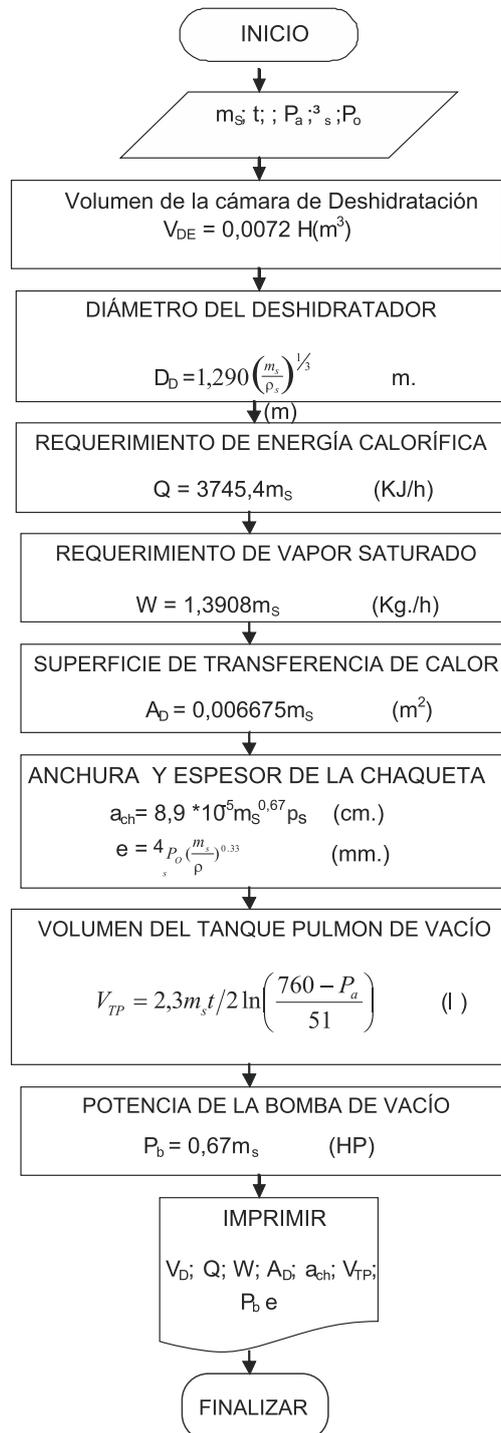


Fig. 1. Algoritmo para determinar los parámetros de Diseño de la cámara de deshidratación (en función de flujo másico de solución) para su respectivo escalamiento a nivel industrial.

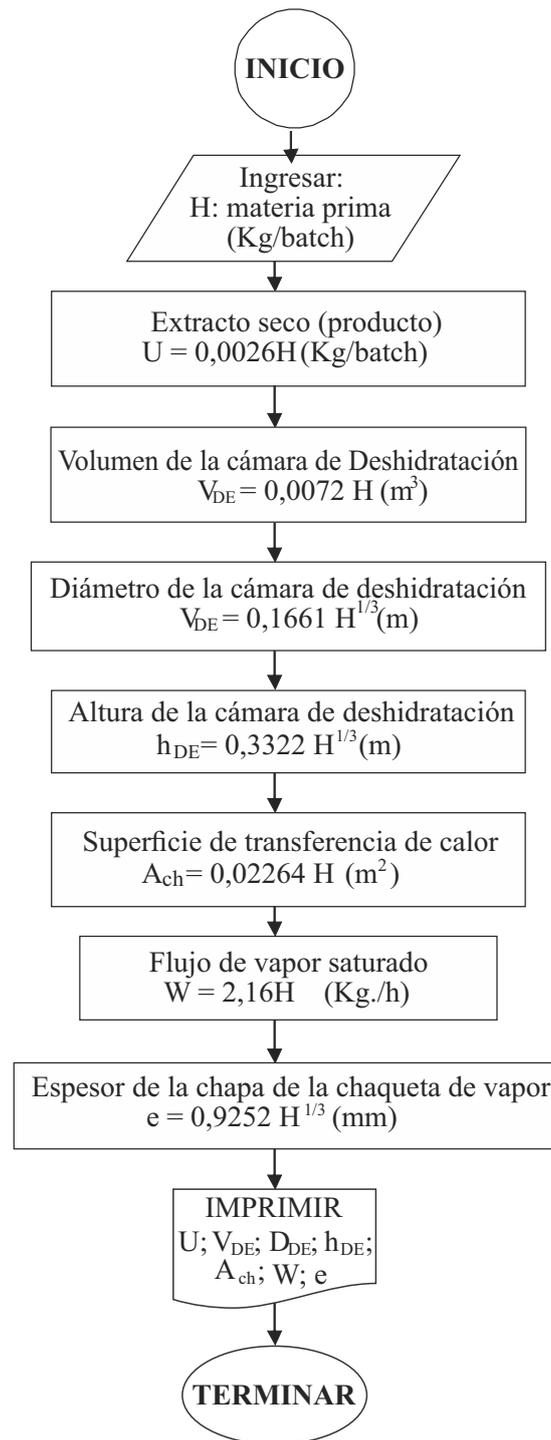


Fig. 2. Algoritmo para dimensionar equipo de deshidratación en función del sólido (Cáscaras de camote y maíz morado) para su respectivo escalamiento a nivel industrial.

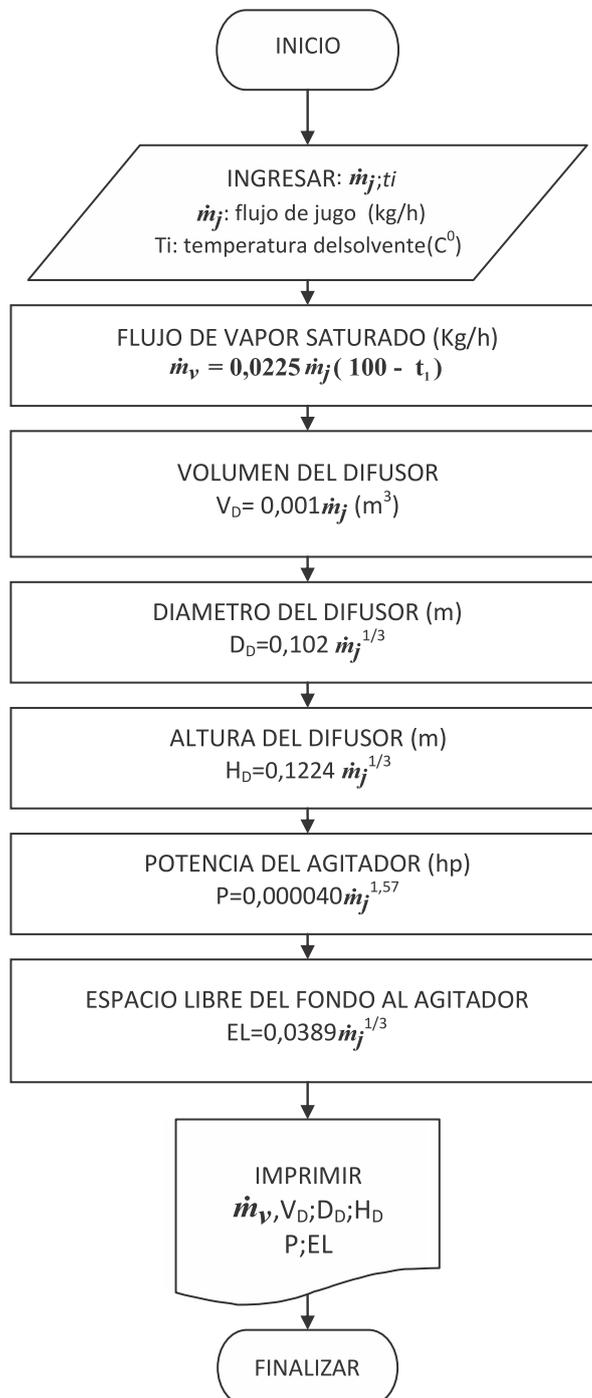


Fig. 3. Algoritmo para determinar dimensiones del difusor mediante programa computarizado Labview.

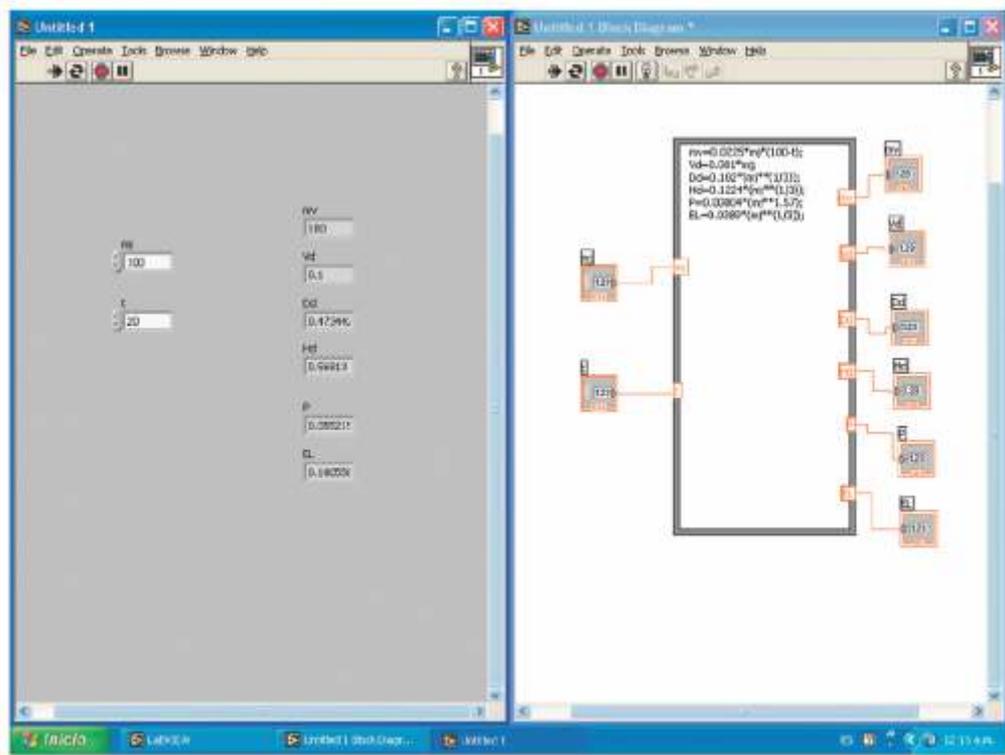


Fig. 4. Programa computarizado en LabVIEW, el cual proporcionó las dimensiones del difusor para la obtención de su escalamiento a nivel industrial.

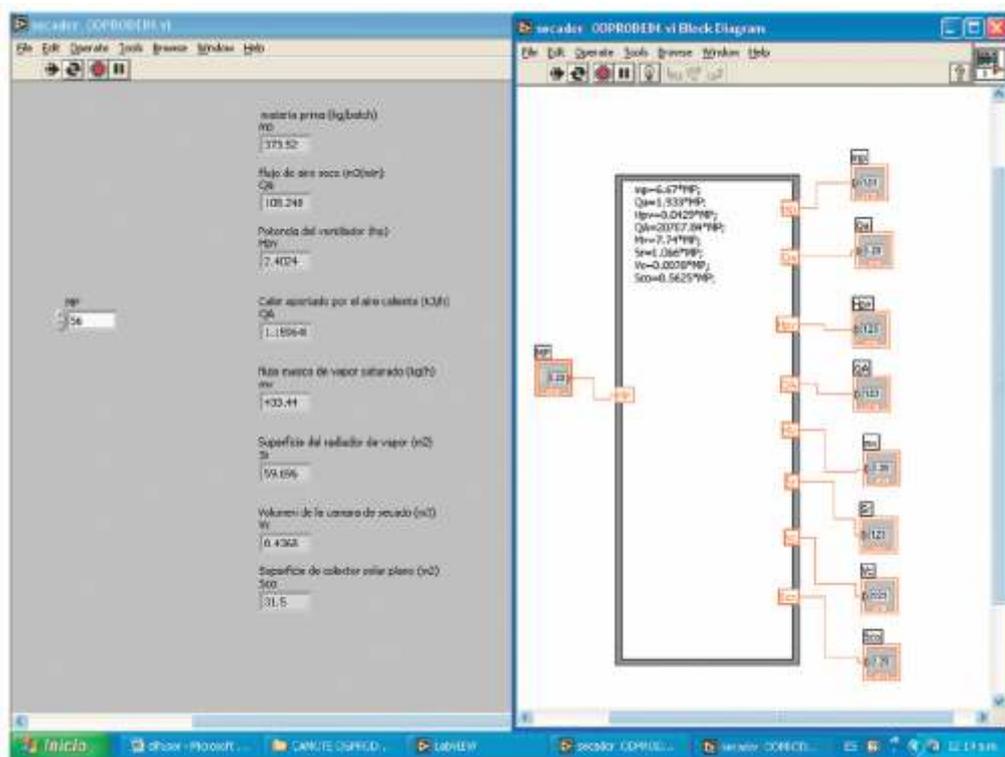


Fig. 5. Programa computarizado en LabVIEW, observándose las proporciones resultantes para escalamiento dimensional a nivel industrial del secador solar para obtención de almidón.



Fig. 6. Vista de prototipo a nivel piloto de equipo para la producción de extracto antociánico diseñado en base a escalamiento dimensional por programa Labview.



Fig. 7. Prototipo de Secador solar a donde se observa colector de acero inoxidable pintado de color negro mate de alta absorbancia.

Tabla 3. Composición y porcentaje de almidón obtenido a partir de granos de maíz.

COMPOSICIÓN TOTAL DEL PRODUCTO	PORCENTAJE (%)
Almidón	92,0
Humedad	8,0
COMPOSICIÓN DEL ALMIDÓN	PORCENTAJE (%)
Amilosa	28,0
Amilopectina	72,0

Tabla 4. Composición y porcentaje de almidón obtenido a partir de raíz de camote morado.

COMPOSICIÓN TOTAL DEL PRODUCTO	PORCENTAJE (%)
Almidón	89,5
Humedad	10,5
COMPOSICIÓN DEL ALMIDÓN	PORCENTAJE (%)
Amilosa	25,0
Amilopectina	75,0

Tabla 5. Parámetros de diseño de cámara obtenidos mediante la técnica de escalamiento.

Volumen de la cámara de	$V_{DE} = 0,0072 H$	(m ³)
Deshidratación	$D_D = 1,290 \frac{m_s}{U_s}^{1/3}$	(m)
Diámetro del deshidratador	$Q = 3745,4 m_s$	(KJ/h)
Requerimiento de energía calorífica	$W = 1,3908 m_s$	(Kg./h)
Requerimiento de vapor saturado	$A_D = 0,006675 m_s$	(m ²)
Superficie de transferencia de calor	$a_{ch} = 8,9 * 10^{-5} m_s^{0,67} p_s$	(cm.)
Anchura y espesor de la chaqueta	$V_{TP} = 2,3 m_s t / 2 \ln \frac{8760 P_a}{51}$	(l)
Volumen del tanque pulmón de vacío		
Potencia de la bomba de vacío	$P_b = 0,67 m_s (HP)$	

Tabla 6. Parámetros de diseño de equipo deshidratador obtenidos mediante la técnica de escalamiento.

Volumen de la cámara de Deshidra tación	$V_{DE} = 0,0072 H$	(m ³)
Diámetro de la cámara de deshidra tación	$V_{DE} = 0,1661 H^{1/3}$	(m)
Altura de la cámara de deshidratación	$h_{DE} = 0,3322 H^{1/3}$	(m)
Superficie de transferencia de calor	$A_{ch} = 0,02264 H$	(m ²)
Flujo de vapor saturado	$W = 2,16 H$	(Kg./h)
Espesor de la chapa de la chaqueta de vapor	$e = 0,9252 H^{1/3}$	(mm)

Tabla 7. Parámetros de diseño de difusor obtenidos mediante la técnica de escalamiento.

Flujo de vapor saturado (Kg/h)	$\dot{m}_v = 0,0225 \dot{m}_j (100 - t_i)$	(Kg/h)
Volumen del difusor	$V_D = 0,001 \dot{m}_j$	(m ³)
Diámetro del difusor	$D_D = 0,102 \dot{m}_j^{1/3} (m)$	
Altura del difusor	$H_D = 0,1224 \dot{m}_j^{1/3}$	
Potencia del agitador	$P = 0,000040 \dot{m}_j^{1,57}$	(hp)
Espacio libre del fondo al agitador	$EL = 0,0389 \dot{m}_j^{1/3}$	

Tabla 8. Parámetros de diseño para secador solar obtenidos mediante la técnica de escalamiento.

Materia prima	$mp = 6,67 * MP$	(kg/batch)
Flujo de aire seco	$Qa = 1933 * MP$	(m ³ /min)
Potencia de ventilador	$Hpv = 0,0429 * MP$	(hp)
Calor aportado por el aire caliente	$QA = 20707,84 * MP$	(KgJ/h)
Flujo másico de vapor saturado	$mv = 7,74 * MP$	(Kg/h)
Superficie del radiador de vapor	$Sr = 1,066 * MP$	(m ²)
Volumen de la cámara de secador	$Vc = 0,0078 * MP$	(m ³)
Superficie de colector solar plano	$Sco = 0,5625 * MP$	(m ²)

DISCUSIÓN

El programa *Labview* permite estimar algunos de los modelos de escalamiento clásico aplicados en la ingeniería de procesos, según se describen en Devia *et al.*(2005), previa definición de las condiciones de operación de los procesos de extracción haciendo un completo análisis de las principales variables críticas, así como de las interacciones que ocurren entre ellas y los intervalos para los que verdaderamente son representativas con ayuda del diseño de experimentos que incluye las variables que afectan el proceso de forma significativa y de esta manera obtener los parámetros de proceso u operación y luego los parámetros de diseño, para obtener los respectivos prototipos que permitan escalar a nivel piloto e industrial²⁶. Diversos autores llegan a la conclusión de utilizar las siguientes variables para el estudio de estos procesos industriales: Relaciones sólido-solvente, Temperaturas y Tiempo de extracción. Estas variables han sido utilizadas en procesos de extracción de colorantes del achiote, de la cascara de plátano hartón, de la semilla de aguacate y de las hojas de helécho^{6,31,22}.

Se han reportado estudios con relación al escalamiento de equipos de producción de pigmentos antociánicos de fuentes vegetales tales como: plátano hartón¹⁸ semilla de palta²⁶ y helécho de la especie *Pieridium aquilinwn*¹³ empleando para el inicio de la investigación Draper Lin Smali Composite Design de Cara Centrada, como el modelo a seguir en el diseño de experimentación y después de haber determinado los principales parámetros de proceso que fueron los siguientes para semilla de palta: concentración del solvente (NaOH 0.5 % P/V), relación sólido / solvente (0.05 P/V), temperatura de extracción (90°C) y tiempo de extracción (120 minutos)²⁶, en el caso de plátano hartón, concentración del solvente (NaOH 0.15 N), relación sólido / solvente (0.0375 P/V), temperatura de extracción (65°C) y tiempo de extracción (90 minutos)¹⁸, para la especie *P. aquilinum* concentración del solvente (NaOH 0.49 N), relación sólido / solvente (0.158 P/V),

temperatura de extracción (60°C) y tiempo de extracción (111 minutos)¹³. Estos ensayos exploratorios finalizaron empleando el software Statgraphics-Plus V 5.0 y para obtener el escalamiento a nivel piloto, se utilizó el programa computarizado Labview para la obtención del diseño de los equipos tanto para extracción y concentración de los pigmentos siendo este último de tipo secador por atomización^{13,18,26} en contraste con el equipo propuesto en el presente trabajo, el cual fue de tipo secador por evaporación al vacío.

Otra investigación relacionada a la extracción de antocianinas, fue la que se utilizó como materia prima al maíz morado, donde Seijas (2003) empleó también las mismas variables antes mencionadas para la obtención de un extracto seco de granos y coronta de maíz morado empleando como solvente agua, ya que el extracto iba ser de aplicación tópica (piel) determinando a parte de la relación sólido-solvente (0.22 coronta y 0.45 para granos), temperatura de extracción (80°C), tiempo de extracción (40 minutos), tiempo de secado (20 minutos) y temperatura de secado (40°C) empleando deshidratación al vacío (23 pulg./Hg)²⁴.

En cuanto al diseño de equipos, Seijas *et al* (2006) determinaron los parámetros de diseño del equipo de deshidratación de extracto de maíz morado teniendo como base la relación óptima pulpa de coronta /agua. Los resultados mostraron una relación óptima pulpa coronta /agua de 1:2. Además se determinó las dimensiones del equipo, como el volumen de la cámara de deshidratación relación altura / diámetro, requerimiento de vapor saturado, superficie de transferencia de calor, anchura de la chaqueta de vapor y volumen del recipiente de vacío²⁵. En la presente investigación realizada también se obtuvo como parámetro óptimo la relación soluto /solvente 1:2 (0,5) (tabla 2) no solo para coronta y granos de maíz morado sino también para cascara de camote morado, este valor indica la proporción a utilizar entre el solvente (agua) y la materia prima más eso puede cambiar dependiendo de esta por

ejemplo con las cascarras del plátano hartón, esta relación fue de un valor de 0,0375¹⁸ y cuando se empleo hoja de helécho la relación óptima fue de 0,158¹³; cabe resaltar que el solvente empleado en estas investigaciones fue hidróxido de sodio, puesto que cuando lo realizaron con agua, el proceso extractivo fue muy bajo^{13,18}, a pesar que los pigmentos que poseen son hidrosolubles, lo que hace que estos pigmentos obtenidos de esta manera no sean utilizados directamente en la industria alimentaria, cosmética o farmacéutica sin antes un previo tratamiento de purificación para retirar las trazas del solvente químico empleado. En cuanto a la temperatura de extracción (difusión), se reportó para los pigmentos del plátano hartón que el valor óptimo fue de 65 °C" y para la obtención del colorante a partir de helécho, la temperatura fue de 60 °C En el caso del presente trabajo la temperatura de difusión (extracción) fue de 80 °C, el valor e,s mayor puesto que los solventes empleados fueron diferentes, siendo importante la determinación de este parámetro ya que esta temperatura permite la ruptura de las paredes celulares, así como del organelo denominado vacuola que es donde se encuentran los pigmentos antociánicos y así estos se difundan al medio extractivo. Las mayores temperaturas, aunque no producen porcentajes elevados del pigmento extraído, influyen también de forma significativa en la descomposición de la materia prima y por esta razón es preferible no tenerlas en cuenta²⁶. Como la temperatura para estos procesos extractivos es relativamente alta, fue importante la determinación del tiempo de difusión, porque también afecta sensiblemente el rendimiento del proceso, pues aunque al aumentar el tiempo hay tendencia a incrementar la eficiencia de la extracción, al excederse podría comenzar a afectar ios pigmentos que puedan estar presentes en el medio. A diferencia de los estudios realizados por Devia *et al* (2005), cuyo tiempo óptimo de extracción para los pigmentos del plátano hartón fue de 90 minutos²⁶, los resultados obtenidos muestran que el tiempo óptimo para el proceso de

nuestro estudio fue de 40 minutos tanto como para coronta y granos de maíz morado así como cascarras de camote morado. Luego de haber obtenido estos resultados a nivel de laboratorio, se procedió a realizar los algoritmos respectivos para la obtención de los modelos matemáticos (fig. 1, 2, 3), las . cuales al ser ingresadas al programa computarizado Labview brindaron las proporciones para el dimensipnamiento a nivel piloto como industrial de los respectivos sistemas (difusor -deshidratador, tabla 5,6,7, fig. 4) que conformarían el equipo productor de pigmentos antociánicos (fig. 6).

Otro aspecto que se debe tener en cuenta para escalar equipos productores de pigmentos es el tipo de operaciones unitarias empleadas principalmente en la etapa de concentración, ya que algunas suelen ser costosas por lo que no sería factible económica la producción de estos compuestos, como se reportó que para la obtención de antocianinas de *Perilla frutescens van Frutescens* especie cultivada Guangzhou (China) se determinó que utilizando 0.01 mol/L de ácido nítrico (solvente) se obtenía un extracto que contenía 12 mg/L de antocianinas (equivalente cianidina)²³. El proceso consistía en varias etapas y que al realizar el escalamiento a nivel piloto, incluía operaciones unitarias para la concentración del extracto como evaporación y osmosis inversa. El extracto se concentró 9.4 veces más por osmosis inversa y luego 5.4 veces más por evaporación obteniéndose 422 mg/L de antocianinas, representando 77% del total del extracto antociánico²³, pero los costos fueron relativamente altos principalmente por el empleo de la osmosis inversa.

Mosquera (1989) determinó que para la obtención de antocianinas obtenidas de hojas de helécho *P aquilum*, el método de lixiviación con bolsas de tela es el más empleado, por su facilidad de filtrado, control de condiciones de operación y puesta a punto, además de su corto tiempo de extracción en comparación con los otros métodos que .generalmente se emplean a escala laboratorio como es la extracción con SolixJeí, y extracción en columna²², pero aún faltaría

determinar si la eficiencia a mayores escalas (piloto e industrial) sería la misma.

Contrastando con los trabajos anteriores, en la presente investigación se empleó la operación unitaria de evaporación-concentración al vacío, siendo de relativamente bajo costo en comparación a las operaciones de concentración tales como liofilización, osmosis inversa, nanofiltración y secado por atomización. La concentración se obtuvo a través del secado de la muestra por evaporación empleando bajas temperaturas, esto se logró utilizando un sistema de vacío, consiguiendo que el punto de ebullición de la solución acuosa para su respectivo secado, se realice a 40 °C (tabla 2), de esta forma se preserva las propiedades colorantes y biológicas de las antocianinas del maíz y camote morado²⁷.

Con respecto, a la obtención del otro producto que fue el almidón, se realizó basándose en el que actualmente se emplea tanto para la obtención de almidón de maíz blanco como el de papa con la diferencia de emplear como energía calorífica la de tipo solar, por lo que se pretendió con esta etapa de la investigación, utilizar integralmente estas dos especies vegetales autóctonas de nuestro país, es decir no solo obtener pigmentos antocianínicos sino también de almidón, con los desechos resultantes de este proceso provenientes de los granos de maíz morado y la raíz entera del camote²⁸.

Su diseño se realizó en base a ensayos exploratorios en laboratorio, para luego culminar obteniendo su dimensionamiento a través del programa Labview (tabla 8, fig,5). El producto que se obtuvo del secador solar fue un almidón cuyo contenido de humedad fue de 8 % y 10 % (tabla 3 y 4) tanto a partir de granos de maíz morado y raíz de camote morado respectivamente.

Además el producto tuvo una composición de 92% (tabla3) de almidón en el caso del obtenido a partir de los granos de maíz y 89,5 % (tabla 4) con respecto al de camote, superando en cantidad a los que reportó Agama *et al* (2005) en los maíces de color azul y negro con un total de 73,5 % y 79,2 %, así

como en el caso de maíz blanco (66,2%)^{2H}. Los resultados contrastados con los reportes indican que el endospermo de los maíces pigmentados permite un mejor aislamiento del polisacárido²⁸. Con relación a la composición del almidón obtenido, este presentó 28 % de amilosa (tabla 3) para el almidón de maíz morado (granos) y 25 % en el caso de camote (tabla 4); en comparación con los resultados obtenidos por Agama, la cantidad de amilosa de granos de maíz morado y camote es mayor comparando con la de los maíces azul y negro que presentaron 20 y 22% de amilosa aparente, mientras que el blanco presentó un valor más alto-(27%) con respecto al-obtenido con camote morado. Estos almidones se pueden considerar como normales debido a su porcentaje de amilosa²⁸. La amilosa es importante ya que realiza los procesos de gelificación y retrogradación del almidón cuando éste es cocinado y almacenado, por lo que los maíces pigmentados pudieran formar productos con textura diferente a los elaborados con el maíz blanco. Los almidones con mayor contenido de amilosa presentan mayor velocidad de retrogradación. Sin embargo, la longitud de las cadenas de la amilopectina influye considerablemente en este fenómeno, lo cual afectaría la textura y digestibilidad de los productos elaborados con este tipo de maíces. Un efecto benéfico de la retrogradación sería la formación de estructuras retrogradadas que tienen una alta resistencia al ataque enzimático, ya que se forma almidón resistente, el cual está asociado con la prevención de enfermedades como el cáncer de colon, disminución del colesterol y glucosa en sangre así como obesidad^{5,28}.

CONCLUSIONES

Se logró realizar el diseño y construcción del equipo piloto para la producción de extracto antocianínico y almidón de maíz morado (*Zea mays*) y camote morado (*Ipomoea batatas*) empleando la técnica de escalamiento ascendente o scale up optimizando los parámetros de proceso tiempo y temperatura de extracción.

Los parámetros óptimos de proceso tiempo y temperatura de extracción fueron 40 minutos y 80 °C respectivamente.

Los parámetros de diseño de la cámara, el equipo deshidratador, difusor y secador solar fueron importantes para obtener los algoritmos respectivos para el escalamiento dimensional a nivel industrial.

La composición total de almidón fue de 92% y 89,5% para el producto obtenido a partir de granos de maíz morado y raíz de camote morado respectivamente.

El contenido total de amilosa fue de 28% y 25% para el almidón producido a partir de granos de maíz morado y raíz de camote morado respectivamente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Wang, H.; M.G. Fair; Y.C. Chang; A.M. Booren; J. Gray y D. Dewitt. 1999. Antioxidant and anti-inflammatory activities of anthocyanins and their aglicons, cyanidin, from tart cherries. *J Nat Prod*; 62(2): 294-296.
2. Rodríguez-Saona LE; M.M. Giusti y R.E. Wrolstad. 1998. Anthocyanin pigment composition of red-fleshed potatoes. *J Food Sci* 63 (3): 458-465.
3. Douglass DK. Baker DC. Gakh y E. Redus M. 1997. Biosynthesis and stability of monoacylated anthocyanins. *Food Technology*; 15 (11): 69-77.
4. Wang, F; R. Couture; C/B Do; T.Q. Pham y V.H. Tong. 1997. Properties of anthocyanins from grape cell culture. *J Food Sci* 62(2): 246-248.
5. Giusti, M.M.; L.E Rodríguez-Saona; L.R Baggett; G. Reed ; R.W Durst y R.E Wrolstad. 1998. Anthocyanin pigment composition of red radish cultivars as potential food colorants. *J Food Sci*; 63(2): 219-224.
6. Fossen T; R. Slimestad y O.M Andersen. 2001. Anthocyanins from maize (*Zea mays*) and reed canarygrass (*Phalaris arundinacea*). *J Agric Food Chem*; 49: 2318-2321.
7. De Pascual-Teresa S, Santos-Buelga C y J.C Rivas-Gonzalo .2002. LC-MS analysis of anthocyanins from purple corn cob. *J Sci Food Agric* 2002; 82:1003-1006.
8. Malien-Aubert C; A. Dangles y M.J. Amato. 2001. Color stability of commercial anthocyanin-based extracts in relation to the phenolic composition. Protective effects by intra and intermolecular copigmentation. *J Agric Food Chem*; 49:170-176.
9. Nishiyama; Y y T. Yamakawa. 2004. Effect of medium composition on the production of anthocyanins by hairy root cultures of *Ipomoea batatas*. *Plant Biotechnol* 5(5), 411-414.
10. Salas SG. 2003. Caracterización de extractos de antocianinas obtenidas del grano de maíz (*Zea mays* L). Tesis de licenciatura. Chapingo, México. Universidad Autónoma Chapingo.
11. Rubio-Hernández D, Salas-Sánchez G, Salinas-Moreno y Y, Ramos-Lobato. 2004. Characterization of anthocyanins extracts from maize (*Zea mays* L.) grains. En: Pigments in food, more than colours. 3th. International Congress. Jun 14-17. Quimper, France, p. 393-395.
12. Lopera, S, 2003. Proceso de Extracción de Colorante Natural a partir del Repollo Morado (*Brassica oleracea* Var. Rubra). Trabajo de grado Ingeniería de Procesos Medellín: Universidad EAFIT.
13. Bracho, C. A. y R.A Paredes. 2003. Diseño de una Planta Piloto para la obtención del colorante del helécho común (*Pteridium aquilinum*). Proyecto de Grado de Ingeniería de Procesos. Medellín: Universidad EAFIT.
14. Molina-Orozco, J. 2004. Manejo del cultivo de camote para mercado interno y exportación (*Ipomoea batatas*). Estación Experimental Donoso. Centro de Investigación y Capacitación hortícola Kiyotada Miyagawa Huaral. Lima Perú
15. Ojeda, D., Campos, D, Chirinos, R y Cisneros, L. 2001. Antocianinas, compuestos fenólicos y actividad antioxidante en cascara de tres variedades de Camote morado (*Ipomoea batatas* (L.) Lam. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima. Perú.
16. Bronnum-Hansen, K. y J.M Flink. 1985. Anthocyanin colourants from elderberry (*Sambucus nigra* L.). Pt.2: process

- considerations for production of a freeze dried product. *Journal of Food Technology**. 20: 713-23.
17. Montgomery, D. C. 1991. Diseño y análisis de experimentos, México: Grupo Editorial Iberoamérica.
 18. Londoño, B. y S. Alviar. 2003. Diseño de una Planta Piloto para la obtención del colorante de la cascara del Plátano hartón. Proyecto de Grado de Ingeniería de Procesos. Medellín: Universidad EAFIT.
 19. Yong - Ju Z y'LR. Howar. 2003. Effects of solvent and temperature on pressurized liquid extraction of anthocyanins and total phenol íes from dried red grape skin. *J Agrie Food CAero*(51):5207-5213.
 20. Salinas-Moreno Y 2000. Antocianinas en granos de maíces criollos mexicanos. Tesis. Colegio de Posgraduados. Montecillo, México. 102 pp.
 21. Flores-Gorosquera, E; F. García-Suárez; E. Flores-Huieochea, M. Núñez-Santiago, R. González-Soto y L. BeUo-Pérez 2004. Rendimiento del proceso de extracción de almidón a partir de frutos de plátano (*Musa paradisiaca*). Estudio en planta piloto *Acta Científica Venezolana*. 55(1).
 22. Mosquera P., J. 1989. Factibilidad Técnica e Industrial de la Extracción de Colorante del Achiote. Medellín. Trabajo de Grado (Ingeniero Químico). Universidad de Antioquia. Facultad de Ingeniería. Departamento de Química.
 23. Salinas-Moreno Y, F. Martínez-Bustos; M. Soto-Hernández; R. Ortega-Paczka y J.L Arellano-Vázquez. 2003 Efecto de la nixtamalización sobre las antocianinas del grano de maíces pigmentados. *Agrociencia*37: 617-628.
 24. Seijas Bernabé, P. 2003. Efecto preventivo- protector del extracto de *Zea maysvar Indurata* (Sturlev) "maíz morado" en piel do *Mus músculos* var Balb/c Ante La Acción Inflamatoria - Hiperplastica De Compuestos Con Hidrocarburos Aromáticos Políciclicos (HAPs). Tesis para Optar el título de Biólogo. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad nacional de Trujillo.
 25. Seijas-Velásquez, S; P. Seijas-Bernabé; C. Esquivel; Z. Alvarado y L. Orejuela. 2005. Influencia de la Relación Pulpa de Coronta /Agua en los Parámetros De Operación y Diseño Del Equipo De Extracción Y Concentración De Extracto DeMaízMorado" PI-7992-IND.YS. ING. OGPRODEIN.
 26. Devia, J; R. Constain; C. Villegas; C. Amarú; R. Paredes; D. Cruz. C .Palomino; C E s c o b a r y B . Londoño.2005.Pulverización de colorantes naturales por secado por atomización. Departamento de Ingeniería de Procesos. Universidad EAFIT. Medellín Colombia.
 27. Amaya, J; N. Ríos; P. Morachimo; E. Méndez; H. Saavedra y L. Ramírez.2006.Influencia de Dosis crecientes de guano de las Islas sobre el desarrollo y Producción de tres cultivares de camote (*Ipomoea batatas*) en el valle santa Catalina -Trujillo. *In vest igac i ó n - Des arrollo e Innovación*.21 (1): 27-30.
 28. Agama, E; M. Óttenhof; I Farhat; O. Paredes, J. Ortiz y L.A. Bello. Aislamiento y caracterización de almidón de maíces pigmentados. 2005. *Agrociencia*.39:419-42.

Correspondencia:

Segundo Seijas Velásquez

Dirección:

Las Gaviotas 1250 Urb. Los Pinos.

Teléfono: 044-474845Cel. 949642177**E-mail:** mabesei@yahoo.com