

Colección
Investigación



Sector Agropecuario

Ingeniería Aplicada

Ingeniería
Aplicada

al sector

agropecuario



Ingeniería Aplicada

Sector Agropecuario



INGENIERÍA APLICADA AL SECTOR AGROPECUARIO

Angélica María Torregroza Espinosa y José Luis Ruiz Meza
Editores/compiladores

Autores

*Claudia Tirado Prada
Javier Pérez Ortega
Rafael Merlano Porto
Alberto Carlos Roberto Tafur Barva
Ibeth Cepeda Jiménez
Jhonatan Andrés Rodríguez Manrique
César Vergara Rodríguez
Gean Pablo Mendoza Ortega
Rodrigo Salgado Ordosgoitia
Yassir Antonio Carlo Morelo
Manuel Fernando Osorio Anaya
Mario Frank Pérez Pérez
Melissa Gutiérrez de Piñeres Meza
Ornella Lucía Narváez Garrido
José Luis Ruiz-Meza
Angélica María Torregroza Espinoza
Daniel Castañeda Valbuena
Juan Carlos Narváez Barandica
Ana Carolina Torregroza Espinosa
Rolando José López Martínez
María Angélica Arias Agámez
Ricardo Miranda Cardona*



2018

Este libro es resultado de investigación, evaluado bajo el sistema doble ciego por pares académicos.

Corporación Universitaria del Caribe - CECAR

Noel Morales Tuesca

Rector

Alfredo Flórez Gutiérrez

Vicerrector Académico

Jhon Víctor Vidal

Vicerrector de Ciencia, Tecnología e Innovación

Luty Gomezzáceres

Director de Investigaciones

Jorge Luis Barboza

Coordinador Editorial CECAR

Editorial.cecar@cecar.edu.co

Colección Investigación

© 2018. Ingeniería aplicada al sector agropecuario.

ISBN: 978-958-8557-99-1 (digital)

DOI: <https://doi.org/10.21892/9789588557991>

Editores/compiladores: Angélica María Torregroza Espinosa y José Luis Ruiz-Meza.

Autores: Claudia Tirado Prada, Javier Pérez Ortega, Rafael Merlano Porto, Alberto Carlos Roberto, Tafur Barva, Ibeth Cepeda Jiménez, Jhonatan Andrés Rodríguez Manrique, César Vergara Rodríguez, Gean Pablo Mendoza Ortega, Rodrigo Salgado Ordosgoitia, Yassir Antonio, Carlo Morelo, Manuel Fernando Osorio Anaya, Mario Frank Pérez Pérez, Melissa Gutiérrez de Piñeres Meza, Ornella Lucía Narváez Garrido, José Luis Ruiz-Meza, Angélica María Torregroza Espinoza, Daniel Castañeda Valbuena, Juan Carlos Narváez Barandica, Ana Carolina Torregroza Espinosa, Rolando José López Martínez, María Angélica Arias Agámez, Ricardo Miranda Cardona.

Sincelejo, Sucre, Colombia.

Ingeniería Aplicada al sector agropecuario/ José Luis Ruiz-Meza...[et al.]; Angélica María Torregroza Espinosa y José Luis Ruiz-Meza, editores y compiladores. – Sincelejo : Editorial CECAR, 2018.

111 páginas : ilustraciones, gráficas, tablas ; 23 cm.

Incluye referencias bibliográficas al final de cada capítulo.

ISBN: 978-958-8557-99-1 (digital)

1. Ingeniería Agronómica 2. Agricultura 3. Industria alimentaria 4. Productos lácteos 5. Desarrollo Agrícola I. Torregroza Espinosa, Angélica María II. Ruiz-Meza, José Luis III. Título.

631.523.3 I46 2018

CDD 21 ed.

CEP - Corporación Universitaria del Caribe, CECAR. Biblioteca Central - COSiCUC

Tabla de Contenido

Introducción 5

Modelo causal para la distribución del dioscorea spp en el departamento de Sucre para exportación..... 11

Claudia Tirado Prada
Javier Pérez Ortega
Rafael Merlano Porto

Desarrollo de un producto derivado lácteo tipo bebida alimenticia para infantes a partir de lactosuero 29

Alberto Carlos Roberto Tafur Barva
Ibeth Cepeda Jiménez
Jhonatan Andrés Rodríguez Manrique
Rolando José López Martínez

Implementación del Proceso Analítico Jerárquico (AHP) para la toma de decisiones en la gestión de abastecimiento; aplicación a una empresa productora de queso costeño 45

César Vergara Rodríguez
Gean Pablo Mendoza Ortega
Rodrigo Salgado Ordosgoitia

Aprovechamiento del bagazo de yuca en la elaboración de papel tipo Kraft..... 63

Yassir Antonio Carlo Morelo
Manuel Fernando Osorio Anaya
Mario Frank Pérez Pérez

Diseño conceptual de distribución en planta para el proceso de extracción de capsaicina 75

Melissa Gutiérrez de Piñeres Meza
Ornella Lucía Narváez Garrido
José Luis Ruiz-Meza
Angélica María Torregroza Espinoza

Contenido

***Estructura genética de dos sistemas de reproductores de Boca-chico Prochilodus magdalenae utilizados para repoblamiento en el norte de Colombia* 91**

Daniel Castañeda Valbuena
Juan Carlos Narváez Barandica
Ana Carolina Torregroza Espinosa

***Evaluación del costo de producción de harina de hoja de ñame (Dioscórea rotundata) cultivado en el Departamento de Sucre.* 107**

María Angélica Arias Agámez
Ricardo Miranda Cardona
Rolando José López Martínez^c

El sector agropecuario hace parte del sector primario, está conformado por el sector agrícola y el sector ganadero. Por ser tan amplio, tiene una importancia estratégica en el desarrollo económico y social de Colombia debido a su participación en el PIB, su incidencia en las condiciones de vida de la población rural, y por su importancia como proveedor de alimentos para la población e insumos para la industria; siendo la última de gran importancia. Para garantizar seguridad alimentaria e insumos a la industria, se tiene que aumentar considerablemente la productividad agropecuaria; para ello, se hace necesario tratar estos aspectos desde la perspectiva de la investigación, el desarrollo tecnológico y la innovación, tales como los procesos productivos para asegurar la calidad e inocuidad de los alimentos, el manejo sanitario y fitosanitario de las producciones agropecuarias, el aprovechamiento de subproductos de dichas producciones, la diversificación y los nuevos usos de productos, el desarrollo de productos innovadores, funcionales, cultivos energéticos, la evidencia científica para sustentar medidas sanitarias y fitosanitarias para el comercio interior y exterior, las normas de calidad, los procesos de cosecha, poscosecha, los procesos logísticos y de comercialización y manipulación, la mejora de las cadenas de suministros los procesos de gestión de conocimiento para el cambio técnico, entre otros.

La investigación en el sector agropecuario desempeña un papel fundamental, se necesitan nuevos conocimientos científicos que puedan ser aplicados en la práctica para hacer frente a los retos que se presenten. Ahora bien, para lograr un desarrollo eficiente del sector agropecuario se deben apoyar e invertir en actividades de ciencia, tecnología e innovación, mediante el desarrollo de investigaciones y prototipos que proyecten la mejora de los rendimientos de los sistemas, minimización de los costos asociados, entre otras ventajas comparativas que permitan competir con otras regiones y productos. En este sentido, los procesos de ingeniería

Introducción

aplicados al sector agroindustrial se consideran como uno de los principales motores que permiten crear ventajas competitivas a los diversos sistemas agropecuarios, que se presentan como economías emergentes, priorizadas y de gran relevancia dentro de los documentos sectoriales y prospectivos.

Por consiguiente, en este libro se recopilaron en total 7 artículos de investigación, los cuales presentan nuevos aportes a la literatura que pretenden la mejora de los sistemas agroindustriales, mediante la implementación de herramientas de análisis, diseño, simulación y modelaciones de ingeniería. Dentro de las investigaciones abordadas, se trataron problemas de distribución en planta, dinámica de sistemas, producción y aplicación de herramientas de análisis jerárquico (AHP) dentro de la elaboración de productos como queso costeño, bebidas con base en lactosueros, obtención de capsaicina, papel kraf, sistema de reproducción de peces, harina de trigo, entre otros.

Angélica María Torregroza Espinosa y José Luis Ruiz Meza
Compiladores

Modelo causal para la distribución del *dioscorea spp* en el departamento de Sucre para exportación

Causal model for the distribution of *Dioscorea spp* in the department of Sucre for export

Claudia Tirado Prada¹
Javier Pérez Ortega²
Rafael Merlano Porto³

Resumen

El *Dioscorea spp*, presenta actualmente para la costa Atlántica, y en particular para el departamento de Sucre una oportunidad para producir e impulsar de manera sostenible las exportaciones de ñame (*Dioscorea spp*) a mercados de alto valor. Para ello es importante la organización de este sector, la caracterización, y modelamiento de la cadena de suministro agroalimentaria (CSA) a partir de factores que inciden e impactan en la eficiencia y comportamiento de la CS de manera directa o indirecta. En esta primera fase, se presenta la situación actual de la cadena, y la caracterización de las variables que la conforman, gracias a datos y parámetros reales recopilados en encuestas, entrevistas y otras fuentes secundarias en la región sabanas, Montes de María y región Golfo de Morrosquillo. Utilizando un análisis estructural, las variables se priorizan, y se convierten en los factores determinantes para elaborar el diagrama Causal. Mediante este modelo, fue posible identificar los bucles y analizar los efectos directos, indirectos e interacciones más importantes que describen el modelo o eslabón de distribución y su logística del *Dioscorea spp*, con fines de exportación a los EEUU.

1 Ingeniero Industrial, Corporación Universitaria del Caribe, Sincelejo, Colombia

2 Ingeniero Industrial, Corporación Universitaria del Caribe, Sincelejo, Colombia

3 Docente Facultad de Ciencias Básicas, Ingeniería y Arquitectura, Corporación Universitaria del Caribe, Sincelejo, Colombia.

Palabras clave: Cadenas de Suministro Agroalimentaria, Análisis estructural, Diagrama Causal, Interacciones de variables, Distribución, Logística, ñame

Abstract

The *Dioscorea spp*, currently presents for the Atlantic coast, and in particular, for the department of Sucre an opportunity to produce and make exports of name (*Dioscorea spp*) are high-value markets. The organization of this sector, the characterization and modeling of the agri-food supply chain (ASC), is important for this, based on factors that impact and impact the SC's efficiency and behavior directly or indirectly. In this first phase, the current presentation of the chain, and the characterization of the variables that comprise it, the real data and parameters collected in surveys, interviews and other secondary sources in the Sabanas, Montes de Maria region and the Golfo de Morrosquillo region. Using a structural analysis, the variables are prioritized, and become the determining factors for the causal diagram. Through this model, it was possible to identify the errors and analyze the direct and indirect effects and most important interactions that describe the distribution and logistic model of *Dioscorea spp*, for export purposes to the USA.

Keywords: Agri-food supply chains, Structural analysis, Causal diagram, Interactions of variables, Distribution, Logistic, Yam.

Introducción

El ñame (*Dioscorea spp.*) es un tubérculo, altamente perecedero, integrante de una familia que supera las 600 especies. Es considerado un alimento básico, directamente ligado a las costumbres alimenticias de muchas personas en todo el mundo, principalmente en Asia, África y América Latina. [1]. En los últimos años el ñame se ha transformado en un producto atractivo para su exportación a otros países. Aunque su aporte individual no es tan representativo en las estadísticas, año a año sus exportaciones han ido aumentando hacia el mercado estadounidense. [2], En Colombia, la producción de ñame se encuentra concentrada principalmente en la región Caribe. En cuanto a exportaciones, para este mismo año, alcanzaron aproximadamente las 3'332.473 Ton, de las cuales el 99, 79% se ubicaron en el mercado estadounidense [2]. El Departamento de Sucre, en el 2016 exporto un equivalente a 1,38 millones de dólares a los Estados unidos, por encima de otros departamentos de la región. Sucre cuenta con una posición geográfica con ventajas indudables para la logística de exportación, debido a su proximidad con los puertos que existen en Bolívar, y Atlántico, que cuentan con la infraestructura necesaria para la inspección, manejo y conservación de la cadena de frío para productos perecederos, y mueven la mayoría de la carga a comercializar en el exterior y conectan al país con todo el mundo por medio del canal de Panamá y el océano Atlántico[3].

Por otro lado, la integración y coordinación productiva, son aspectos clave que debe ser atendidos para propiciar el posicionamiento del ñame (*Dioscorea spp.*) en los mercados internacionales. Asegurar el abastecimiento de productos de gran calidad obedece al compromiso y cooperación que todos los participantes, desde el productor hasta el distribuidor, estén dispuestos a asumir [4]. La integración de los actores puede darse de distintas formas. Entre ellas, se encuentran las cadenas de suministro (CS) o de valor. Para el caso de los productos agroalimentarios, como es el caso del ñame (*Dioscorea spp.*) la integración de los eslabones en torno a este producto, recibe la denominación de cadena de suministro agroalimentaria (CSA).

Como sistema complejo, la ejecución de las operaciones dentro de una CSA, está comprendida por un sinnúmero de variables provenientes de

agentes internos y externos que se afectan entre sí, provocando reacciones inesperadas que pueden traer consecuencias positivas o negativas. Además, la CSA, propicia la creación de alianzas productivas, ayudan a los actores a identificar problemas, aprovechar mejor los recursos, mejora el flujo de la información entre eslabones y contribuye al logro de los objetivos. [5].

Con ese potencial identificado, y con el fin de fortalecer la producción y comercialización del producto hacia mercados de alto valor, es importante la gestión organizacional en torno a toda la red de distribución de toda la CSA. El posicionamiento del producto en mercados internacionales, además de generar escenarios competitivos alrededor de esta cadena, tanto para productores y exportadores, exige a todos los actores y eslabones funcionar de manera integrada, con un manejo claro en las responsabilidades de todos aquellos factores que inciden en la calidad del producto, y que permiten mejorar la sostenibilidad de las exportaciones y asegurar la confianza de los mercados internacionales.

En ese sentido, el diseño de un modelo de CSA, para la exportación del ñame (*Dioscorea spp*) para las regiones Montes de María, Golfo de Morrosquillo y región Sabanas en el Departamento de Sucre, surge como una alternativa viable para consolidar una propuesta de negocios en la región. En la primera fase de la investigación, se delimito el alcance de la propuesta y la caracterización de las variables. Y mediante un análisis estructural se logró priorizar las más importantes o aquellas con más alto impacto en la CSA, por tratarse de un sistema complejo y en segundo lugar el número y la relación entre las variables que definen el sistema. Con lo expuesto se identificó el objetivo principal de del presente estudio, el cual se enfocó básicamente en determinar el diseño del modelo causal, con las respectivas interacciones y relaciones directas e indirectas entre los factores priorizados y los respectivos bucles de retroalimentación.

Materiales y Métodos

Para el desarrollo del proyecto, y de acuerdo a los objetivos establecidos, los aspectos necesarios para solucionar el problema y los pasos para la modelación con DS, se establecen las siguientes fases:

Fase 1: Variables

Se realiza un inventario de las variables que hacen parte de los procesos de transporte, almacenamiento, empaque y embalaje dentro del sistema logístico, necesarias para que el ñame cumpla los requisitos de calidad para la exportación a los estados unidos. Para ello se recurre a fuentes primarias (entrevistas a exportadores de ñame en la región sabanas) y secundarias (artículos, libros, datos de entidades gubernamentales) que proporcionen información sobre la situación actual del sistema.

Luego se definen las variables más significativas y las interacciones entre sí con el fin de limitar la realidad a mostrar con el modelo, utilizando un análisis estructural por medio de expertos que evalúen según los criterios establecidos por el método la intensidad de la afectación entre los factores del sistema y así calcular el grado de influencia y dependencia entre las variables por medio del software MICMAC tomando como insumo dicha evaluación. Como resultado de este procedimiento el software arroja un gráfico genérico de influencias directas. (Ver tabla 1).

Fase 2: Modelamiento

Seguidamente se procede a la construcción del diagrama causal en base al gráfico genérico arrojado por MICMAC con su respectivo análisis y a la información obtenida de fuentes primarias y secundarias.

Resultados

Propiedades de la CS del ñame

Teniendo como base la información recolectada a través de encuestas, charlas sostenidas con 3 exportadores de Sucre y lecturas realizadas a cartillas, artículos de revistas científicas, boletines institucionales, documentos de trabajo, etc. sobre la situación actual de la comercialización de ñame en el departamento, se tiene que la estructura de la CSA para la comercialización de ñame a nivel global corresponde a la evidenciada en la Figura 1.

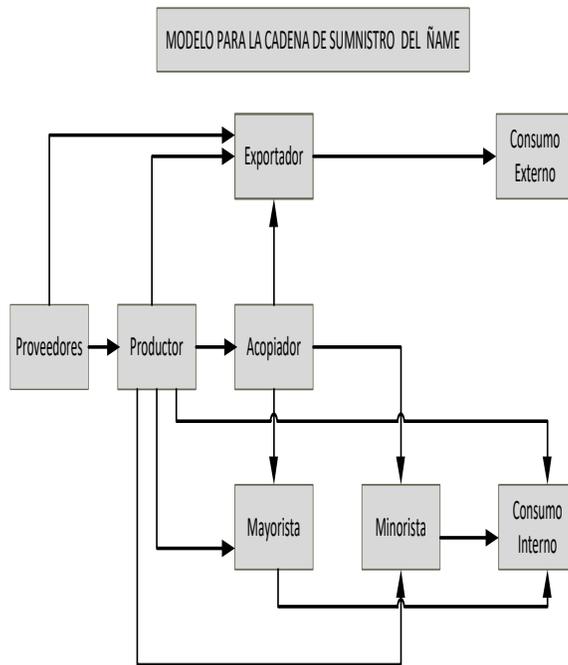


Figura 1. Red global de la CSA de ñame.

Fuente: Los autores

La cadena inicia con el productor, quien destina un porcentaje de la cosecha al acopiador y al exportador. El acopiador se dedica a juntar producto proveniente de varias fincas para revenderlo al mayorista y al exportador. El consumidor interno y el externo adquieren el producto fresco del minorista y el exportador respectivamente. En este caso solo interesó lo que ocurre en las operaciones logísticas entre el productor, exportador y el consumidor externo.

3.2 Logística de la CSA de ñame para exportación

Desde las fincas productoras registradas en el ICA como aptas para el cultivo de ñame tipo exportación se transporta el producto, teniendo en cuenta el cumplimiento de condiciones de admisión y calidad. El ñame llega al almacenamiento del exportador, quien después de su recepción realiza una valoración a nivel visual de los lotes recolectados, monitoreando su cantidad, calidad y tiempo de ingreso. Los ñames se lavan, se someten a un tratamiento fungicida y se dejan secar para realizar posteriormente un

proceso de curado durante 5 a 6 días (si es necesario), luego se hace una re-clasificación, eliminando residuos de raíces y suciedad, de acuerdo a lo establecido en la Norma técnica Colombiana 1269 [6].

Después, el producto es empacado, pesado, etiquetado y almacenado por un tiempo en cajas para ser despachadas en un camión hacia el puerto escogido para la salida del producto al exterior, allí se descargan, se arma el contenedor y se ubica de acuerdo al incoterm FOB, que define el final de la cadena.

3.3 Caracterización de variables para MICMAC

Tabla 1
Variables sistema de distribución

N°	Título largo	Título corto	Descripción
5	Cantidad de ñame desperdiciado	CÑD	Cantidad del producto que al ser clasificado se consideró no apto para exportación
6	Temperatura de almacenamiento	TA	Temperatura en °C que posee el almacenamiento para la conservación del producto
7	Capacidad de almacenamiento	ArA	Área disponible para almacenar el producto en bodega.
8	Altura máxima de almacenamiento	AMA	Límite permisible de arrume del producto en almacenamiento que no compromete su adecuada conservación.
9	Tiempo de almacenamiento	TiA	Periodo que demora el producto almacenado esperando ser limpiado, curado y despachado.
10	Demanda anual de ñame	DAÑ	Cantidad de cajas de ñame de exportación que son solicitadas por el cliente extranjero en un periodo de tiempo.

Modelo causal para la distribución del *Dioscorea spp* en el departamento de Sucre para exportación

N°	Título largo	Título corto	Descripción
11	Cantidad de cajas transportadas	CCT	Cajas con el producto que son despachadas de la bodega hacia el puerto donde saldrá el producto del país.
12	Distancia recorrida T2	DR2	Kilómetros recorridos por los vehículos en el trayecto bodega del exportador-puerto
13	Tiempo empleado en el transporte	TET	Tiempo que demora el transporte desde el almacenamiento de exportador al puerto elegido para enviar el producto a su destino
14	Capacidad del vehículo T2	CV2	Espacio con el que disponen los vehículos para transportar el producto en el trayecto bodega del exportador-puerto.
15	Dimensiones de la caja	DC	Dimensiones que posee las cajas utilizadas para el empaque del producto
16	Dimensiones del contenedor	Dcon	Dimensiones que posee el contenedor para el embalaje del producto.
17	Cantidad de cajas cargadas al contenedor	CCO	Número de cajas que se cargaron al contenedor para ser enviadas al país de destino
18	Peso de la carga del contenedor	PCC	Peso del contenedor con las cajas cargadas en el
19	Temperatura de refrigeración del contenedor	TRC	Temperatura en °C programada en el contenedor que llevara las cajas con el producto al país de destino
20	Costo de transporte por tonelada	CTT	Costo resultante del costo por tonelada, cargue, descargue, horas de espera.
21	Costo de almacenamiento	Cal	Costo resultante de servicios utilizados en el almacenamiento

N°	Título largo	Título corto	Descripción
22	Costo de empaque	CE	Costo resultante del costo de compra de las cajas, mano de obra para armado de cajas y para empacar el producto en ellas
23	Costo de transporte	CT	Costo resultante del costo del transporte de las fincas productoras al almacenamiento del exportador y del almacenamiento del exportador al puerto
24	Costo estimado del contenedor	CEC	Costo resultante de la suma del costo de alquiler, el costo de las cajas cargadas y el costo de los días que el contenedor demora en el patio del puerto
25	Costo de tiempo de demora del contenedor en el patio del puerto	CTP	Costo resultante del tiempo que demore el contenedor en patio y el costo asociado a su estancia en el
26	Costo de desperdicio	CD	Costo resultante de la cantidad de producto desperdiciada por el costo del producto
27	Utilidad del exportador	UE	Ganancia obtenida por el exportador al realizar una operación de exportación, resultante de la resta de los costos al precio de la cantidad de cajas exportadas con producto.

Matriz relacional

De las evaluaciones realizadas por los expertos, sintetizadas con el cálculo de la moda de cada casilla, las variables fueron calificadas por su influencia y dependencia como se evidencia en la Tabla 2, que corresponde a la matriz que se ingresó al software. Al realizar 6 iteraciones, que es el número recomendado en este caso por el programa para alcanzar la estabilidad, se obtuvieron el plano y gráfico de influencias directas los

cuales se analizaron detalladamente, aclarando que, como lo afirma [7] “tales resultados nunca deben ser tomados al pie de la letra, sino que su finalidad es solamente la de hacer reflexionar; no hay una lectura única y oficial de resultados del MICMAC y conviene que el grupo forje su propia interpretación” (p.72).

La figura 2 muestra la distribución de las variables en el plano entregada por el software, con el cual se realizó la clasificación a la que pertenecen de acuerdo a su ubicación en el mismo, dividiéndolas en:

a. Variables determinantes: en esta sección se ubicaron 3 variables, correspondientes a TOP, TÑC y CCT, restringiendo el funcionamiento del sistema.

Tabla 2
Matriz MICMAC de relaciones entre variables.

	1: TOP	2: DR1	3: CV1	4: TNC	5: CND	6: TA	7: ArA	8: AMA	9: TiA	10: DAN	11: CCT	12: DR2	13: TET	14: CV2	15: DC	16: Dcon	17: CCO	18: PCC	19: TRC	20: CTT	21: CAI	22: CE	23: CT	24: CEC	25: CTP	26: CD	27: UE	
1: TOP	0	0	3	3	3	1	3	3	3	2	P	0	0	0	3	0	0	0	0	2	3	2	0	1	2	3		
2: DR1	2	0	1	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	0	0	0	0	0	2		
3: CV1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	1	1		
4: TNC	3	0	0	0	2	1	3	2	0	P	3	0	0	2	2	0	1	0	0	0	3	1	3	1	0	3	3	
5: CND	3	0	0	3	0	0	0	0	0	P	3	0	0	P	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	
6: TA	P	0	0	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	0	0	1	0	1	2	
7: ArA	P	0	0	2	2	1	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	0	0	0	P	3	
8: AMA	2	0	0	2	1	2	1	0	P	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	
9: TiA	2	0	0	3	3	0	0	0	0	P	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	3	0	0	0	0	1	2
10: DAN	3	0	0	3	1	0	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	3	
11: CCT	0	0	0	0	2	0	3	2	P	2	0	0	2	2	2	0	1	3	0	2	2	3	3	2	0	1	3	
12: DR2	0	0	0	0	1	0	1	1	P	0	0	0	3	2	0	0	1	0	0	3	0	0	3	0	0	1	3	
13: TET	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	2	0	0	1	0	0	2	0	0	3	0	0	2	0	
14: CV2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	
15: DC	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	2	0	0	1	0	2	3	1	0	0	0	2	0	2	0	0	1	
16: Dcon	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	2	1	0	2	2	0	2	0	0	0	3	0	0	0	
17: CCO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	2	0	2	0	3	2	3	0	0	0	0	0	0	2	
18: PCC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	2	1	2	3	0	0	3	0	0	0	3	0	1	3	
19: TRC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	3	
20: CTT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	
21: CAI	0	0	0	1	0	0	2	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	
22: CE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
23: CT	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	2	
24: CEC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	
25: CTP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	
26: CD	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	
27: UE	3	0	0	3	1	0	2	2	2	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

© IPSOR-EHTA-MICMAC

Fuente: Los autores

Plano de influencias y dependencias directas.

b. Variables clave: En el estudio ninguna variable se ubicó en esta parte del plano. c. Variables de resultado: como variables de salida e indicadores del sistema se situaron 2 variables, UE y CTT. d. Variables autónomas: En este segmento del plano aparecieron 12 variables relacionadas, siendo parte de él DR1, Dcon, TRC, CV1, CE, CTP, TET, TiA, DC, TA, CCO y DR2. e. Variables objetivo. Como sucedió con las variables clave, en este espacio no se ubicaron variables. f. Variables de entorno. En este sector se encasillaron 2 variables, PCC y DAÑ. g. Variables reguladoras. Por último, ubicadas en esta clasificación se encontraron 7 variables, entre ellas CÑD, ArA, AMA, CAI, CT, CV2 y CD.

Las variables autónomas no afectan de forma importante al sistema por ser poco influyentes y dependientes se decidió eliminarlas junto otras variables que a pesar de quedar en otras categorías se consideró, según las fuentes primarias, secundarias y las reuniones con los expertos, no influían significativamente en el funcionamiento de sistema.

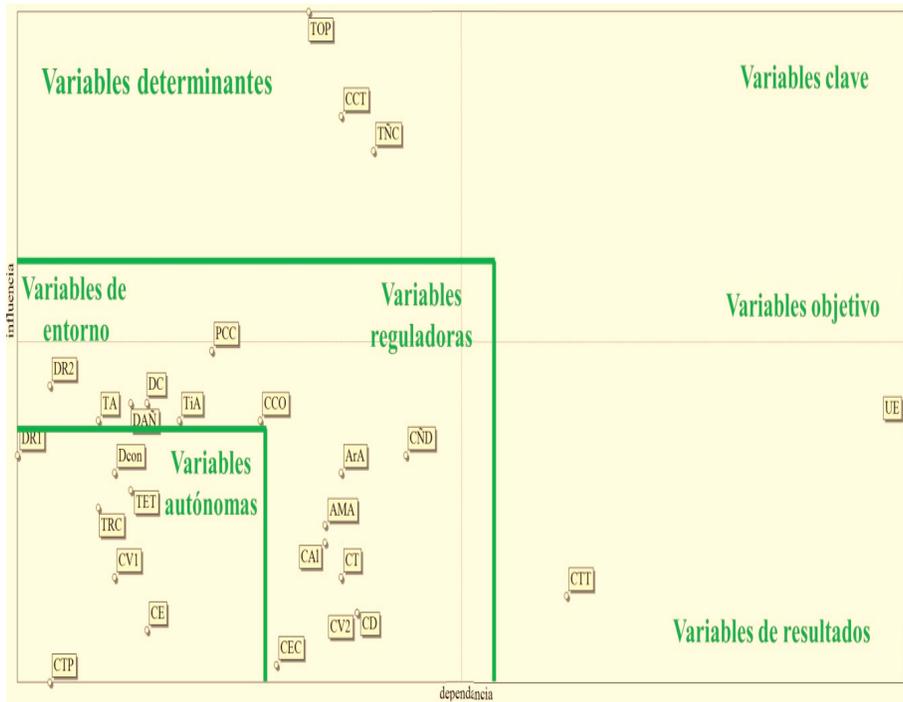


Figura 2. Plano de influencias/Dependencias directas.
Fuente: Los autores

Las variables que se calificaron como indispensables de acuerdo a los resultados del software fueron 12, de las cuales 6 son reguladoras (CAL, CV2, CT, CÑD, CD y Ara); 3 son determinantes (TOP, TÑC, CCT); 2 son de resultado (CTT, UE) y 1 de entorno (DAÑ). Por lo anterior, tanto las variables que no fueron mencionadas como las relaciones que se derivaban de ellas fueron eliminadas.

Gráfico de influencias directas.

Tomando como base las 12 variables seleccionadas en el apartado anterior se generó el gráfico de influencias directas que se muestra en la figura 5 solo incluyéndolas a ellas, con la finalidad de facilitar su interpretación y separar las relaciones más significativas para así crear el diagrama causal.

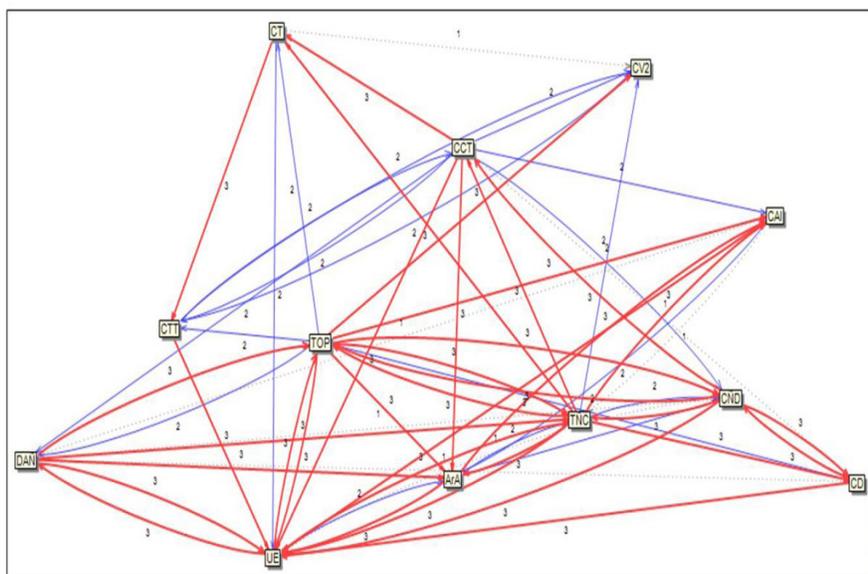


Figura 3. Gráfico de influencias directas.
Fuente: Los autores.

Gráfico de influencias indirectas.

Además de tomar como base el gráfico directo, fue importante también generar con el software el gráfico de influencias indirectas de la figura 6 y así ver con claridad la importancia que tienen ciertas variables que al poseer una relación no directa la primera clasificación no las ubico como factores

Propuesta de diagrama causal

Al validar por medio del software MICMAC las relaciones más significativas, se puede observar en la figura 5 la esquematización resultante de estos análisis en un diagrama causal, conformado por las variables que hacen parte de la estructura actual de la CSA de ñame para exportación y las relaciones entre ellas con sus respectivos sentidos de influencia (positiva o negativa).

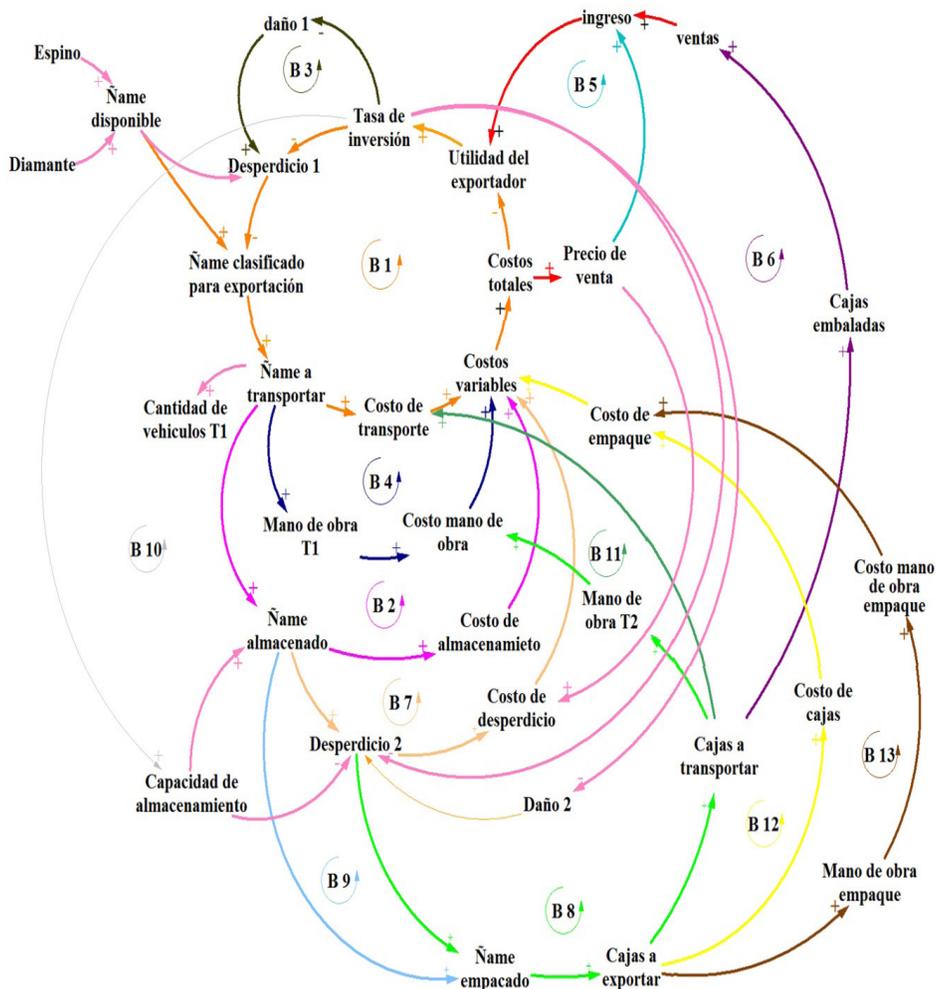


Figura 5. Diagrama causal sistema logístico CSA de ñame para exportación.
Fuente: Los autores

En él también se encuentran los mecanismos de retroalimentación principales o bucles, que son ciclos cerrados de relaciones entre dos o más elementos del sistema y surgen de la construcción de la estructura del modelo [8]. Debido a que el diagrama está constituido en este caso por muchas variables y por la naturaleza de las relaciones existentes se obtuvo que para ciertos elementos se forman bucles que superan los 100 en número. En el diagrama causal propuesto se pueden contemplar los más evidentes con sus respectivos indicadores, qué especifican el tipo de bucle, ya sea positivo (+ o R) o negativo (- o B) además de su sentido (contrario o no al movimiento de las manecillas del reloj).

Conclusiones y recomendaciones

Aunque Colombia se encuentra en el quinto lugar en las exportaciones de ñame a estados unidos, el precio pagado a nuestro país es uno de los más bajos en el mercado, debido a la falta de calidad del producto, lo que se refleja en todos los departamentos que cultivan ñame. En Sucre particularmente, existe una falta de tecnificación, de condiciones de almacenamiento, trazabilidad y buenas prácticas de manejo en el sistema logístico para exportación.

La situación actual estudiada muestra que el número de productores en el departamento de Sucre ha ido aumentando sin control, lo que genera cada vez que llega la época de cosecha y para los siguientes meses una sobreoferta de ñame, que con la capacidad interna que se tiene actualmente es muy difícil de manejar, ocasionando que los precios nacionales e internacionales disminuyan por no existir políticas integrales que los regulen. Además, una sobreoferta del producto no garantiza que este sea más vendido en los mercados externos, lo que ocasiona muchos desperdicios y pérdida de rentabilidad tanto en productores como exportadores

Mediante el diagrama causal fue posible analizar y estudiar el problema a profundidad, en el cual se incluyeron las interacciones entre las diferentes variables que componen el sistema distribución del producto ñame a los estados Unidos, principalmente. Cualquier variación que se presente en uno de los factores priorizados, y de acuerdo al diagrama causa, es posible evaluar su afectación sobre otras variables, incluso, incidencias que tienen

una causa y un efecto- directo entre variables. Pero según el diagrama causa-efecto, también es posible evaluar el impacto que un factor o varios factores tienen de manera indirecta sobre otros factores. Con la información recopilada se sentaron las bases para entender el funcionamiento interno y externo de los procesos asociados a la logística de exportación de ñame en el departamento de Sucre y así poder definir los actores involucrados, obtener los parámetros y enlistar las variables que los caracterizan.

Mediante el sistema de bucles se puede asociar que los factores que hacen parte de un bucle, como un cambio en una variable, puede afectar otras variables, pero los resultados pueden tener un efecto indirecto sobre la misma variable. Como se puede apreciar en el diagrama causal (B1), un incremento en la inversión (mejoramiento en los sistemas de almacenamiento), tiene un efecto directo en la disminución del desperdicio del ñame, en el productor y exportador.

Así mismo la disminución en el desperdicio, mejora las cantidades de ñame seleccionadas para exportación, y por consiguiente se incrementan el número de toneladas para exportación y a transportar. Sin embargo, los costos de transporte se incrementan, así como los costos totales, pero dado el mayor número de ventas, la utilidad para el productor y exportador se ven incrementadas. Como un efecto contrario cualquier disminución en la utilidad, termina afectando las inversiones para el mantenimiento, almacenamiento y conservación producto. Además, con ayuda del diagrama de influencias directas arrojado por MICMAC fue mucho más sencillo y certero elaborar el diagrama causal, debido a su capacidad de mostrar y dar pautas para orientar las relaciones directas entre las variables, contando con la ventaja de que están respaldadas por la información confiable que proviene de la evaluación de los expertos y las fuentes secundarias consultadas. Ahora bien, el diagrama causa se convierte en el insumo principal para desarrollar los modelos en dinámica de sistemas (Diagramas de forrester) con la inclusión de otras variables, definición de parámetros, para la evaluación y análisis de escenarios.

Referencias

- [1] R. D. Andrade, J. C. Palacio, W. A. Pacheco, and R. A. Betin, "Almacenamiento de trozos de ñame (*Dioscorea rotundata* Poir) en Atmósferas Modificadas," *Inf. tecnológica*, vol. 23, no. 4, pp. 65–72, 2012.
- [2] Centro de Comercio Internacional - ITC, "Datos comerciales mensuales, trimestrales y anuales. Valores de importación y exportación, volúmenes, tasas de crecimiento, cuotas de mercado," 2017. [Online]. Available: <http://www.trademap.org/Index.aspx>.
- [3] PROCOLOMBIA, "Sucre aprovecha los TLC," *Rev. oportunidades Proexport Colomb.*, 2013.
- [4] E. R. Castellanos, "La competitividad de los agronegocios en Colombia: una reflexión académica," *Magazín Empres.*, vol. 9, no. 22, pp. 29–34, 2013.
- [5] Y. Peña, P. A. N. Alemán, and F. D. Rodríguez, "Cadenas de valor: un enfoque para las agrocadenas," *Equidad Desarro.*, no. 9, pp. 77–85, 2008.
- [6] Y. M. Cabezas López and P. A. Casas Duarte, "Formulación del plan de exportación de ñame para la empresa PDM Productos Agrícolas EU con destino al mercado de los Estados Unidos."
- [7] M. Godet, R. Monti, F. Meunier, and F. Roubelat, "La caja de herramientas de la prospectiva estratégica," *Laboratoire d'Investigation Prospective et Stratégique*, 2000.
- [8] J. M. García, *Teoría y ejercicios prácticos de Dinámica de Sistemas: Dinámica de Sistemas con VENSIM PLE*. Juan Martín García, 2017.
- [9] Sterman, J. (2002). *Business Dynamics: systems thinking and modeling for a complex world*. United States: McGraw-Hill. Recuperado de: http://www.simposio.palmira.unal.edu.co/documentos/Sterman_Business_dynamics.pdf

Desarrollo de un producto derivado lácteo tipo bebida alimenticia para infantes a partir de lactosuero

Development of a dairy product derived from whey and a food drink type for infants

Alberto Carlos Roberto Tafur Barva¹
Ibeth Cepeda Jiménez²
Jhonatan Andrés Rodríguez Manrique³
Rolando José López Martínez⁴

Resumen

El lactosuero es un producto de alta calidad nutricional y energética, además, se define como la fracción de leche que no precipita por acción del cuajo o por la acción de ácidos durante la elaboración del queso. Sin embargo, el aprovechamiento que se le ha dado al lactosuero, es suministrarlo como complemento dietario en las etapas de ceba y levante de porcinos o en su defecto descartar este residuo en los principales efluentes. A razón de lo anterior, el objetivo del presente estudio fue desarrollar de un producto derivado lácteo tipo bebida alimenticia para infantes a partir de lactosuero como propuesta de generación de valor. Metodológicamente, para el desarrollo del producto se siguieron cinco etapas que fueron realizar la caracterización del lactosuero, realizar proceso de higienización, el proceso de filtrado, adición y mezcla de componentes sólidos y la pasteurización y envasado. Se concluye que la bebida nutricional obtenida representa una buena alternativa de aprovechamiento

1 Ingeniero Agroindustrial, Universidad Pontificia Bolivariana, Montería, Colombia.

2 Docente Escuela de Ingenierías y Arquitectura, Universidad Pontificia Bolivariana, Montería, Colombia.

3 Docente Facultad de Ciencias Básicas, Ingeniería y Arquitectura, Corporación Universitaria del Caribe, Sincelejo, Colombia.

4 Docente Facultad de Ciencias Básicas, Ingeniería y Arquitectura, Corporación Universitaria del Caribe, Sincelejo, Colombia.

agroindustrial para un residuo abundante y con alto valor nutricional como es el caso del lactosuero. Además, no solo representa la generación de un producto novedoso, sino que también contribuye en temas de seguridad alimentaria para un sector de alta exigencia de requerimientos sensoriales y nutricionales como es el caso de los infantes, pero que también puede ser consumido por jóvenes en etapas de pubertad y adolescencia.

Palabras clave: Lactosuero, infantes, pasteurización, proteína.

Abstract

The whey is a product of high nutritional and energetic quality, in addition, it is defined as the fraction of milk that does not precipitate by action of the rennet or by the action of acids during the elaboration of the cheese. However, the use that has been given to whey, is to provide it as a dietary supplement in the stages of fattening and lifting of pigs or discard this residue in the main effluents. In view of the above, the objective of this study was to develop a dairy derivative product type food drink for infants from whey as a proposal for generating value. Methodologically, five stages were followed for the development of the product: characterization of the whey, hygienization process, filtration process, addition and mixture of solid components and pasteurization and packaging. It is concluded that the nutritional drink obtained represents a good alternative for agro-industrial use for a waste abundant and high nutritional value as is the case of whey. In addition, it not only represents the generation of a novel product, but also contributes to food safety issues for a sector with high sensory and nutritional requirements as is the case of infants, but can also be consumed by young people in stages of puberty and adolescence.

Keywords: Whey, infants, pasteurization, protein.

Introducción

La leche es un alimento básico en la dieta de los seres humanos, ya que es el único mamífero que mantiene en su dieta el consumo de leche y de productos lácteos aun después de su etapa de lactancia y en todas las etapas del ciclo vital [1,2]. Este fenómeno puede ser atribuido a que, a lo largo de los años, se ha identificado un alto contenido nutricional los productos lácteos acompañado de un excelente aporte energético, ya que posee molecularmente un equilibrio de componentes como proteínas de muy alto valor biológico, carbohidratos, grasas, vitaminas liposolubles y minerales como el calcio y el fósforo [3]. En cuanto a estadísticas de producción, en América latina Colombia para el año 2014 figuró como el cuarto principal productor de leche, aportando 65000 millones de toneladas, países como Brasil, México y Argentina, son los principales productores de esta materia prima y su aporte representan cerca del 66% del total de la región [4]. Sin embargo, de estos volúmenes de producción se resalta la generación de derivados lácteos, lo cual es una industria que ha prevalecido a lo largo del tiempo, lo cual representa un aspecto favorable en la oferta de productos y en la generación de valor agregado para este sector.

En los procesos de obtención de derivados lácteos uno de los principales que residuos que se genera sobre todo en la producción industrial de quesos es el lactosuero, el cual también es conocido como el suero de queso de leche de vaca. Este producto tiene una alta calidad nutricional, contiene proteínas, grasa, minerales, vitaminas y una cantidad importante de aminoácidos esenciales; y también de aminoácidos de cadena ramificada, que son la valina, leucina y la isoleucina, estos evitan el catabolismo muscular y algunos vienen adicionados de glutamina, además, se identificado también que este residuo retiene cerca de 55% del total de ingredientes de la leche como la lactosa, proteínas solubles, lípidos y sales minerales [5]. El lactosuero es un producto de alta calidad nutricional y energética, además, se define como la fracción de leche que no precipita por acción del cuajo o por la acción de ácidos durante la elaboración del queso, su composición no depende solamente de la composición de la leche empleada ni del contenido de humedad del queso, también depende de la forma de fabricación del queso, la pasteurización de la leche y el manejo de la cadena de frío del suero [6].

El aprovechamiento que se le ha dado al lactosuero en estado en su estado natural, es suministrarlo como complemento dietario en las etapas de ceba y levante de porcinos o en su defecto descartar este residuo en los principales efluentes sanitarios, lo cual ha representado un problema ambiental serio, puesto que se demostró que esta práctica inapropiada de utilización afecta las propiedades físicas y químicas naturales del suelo, ocasionando disminuciones en el rendimiento de diversos cultivos. Mientras que en los ríos la presencia del lactosuero reduce la cantidad de oxígeno disuelto en vertientes naturales, limitando la vida acuática de los peces [7,8], ya que el lactosuero es una sustancia compuesta por una alta cantidad de sólidos orgánicos y su descomposición y asimilación demandan una gran cantidad de oxígeno de los ambientes en los que se vierten. Descomponer suero lácteo tiene una DBO entre 40,000 y 50,000 mg/L [9]. En este sentido, debe mencionarse que actualmente las necesidades de alimentación humana y animal han aumentado significativamente, obligando a plantear nuevas alternativas tecnológicas como la de elaborar una bebida alimenticia refrescante que permitan suplir dichas necesidades debido a que es una fuente importante de carbohidratos, proteínas, vitaminas y minerales, siendo de relevante importancia el aprovechamiento de las proteínas del lactosuero como una alternativa nutricional utilizando tecnologías emergentes para la extracción.

Para la elaboración de cualquier tipo de bebida a base de lactosuero, se debe considerar hacer buen uso de los estabilizantes adecuados, los cuales puedan lograr darle un equilibrio correcto para así poder obtener un producto con mejores características sensoriales. El CMC (Carboximetil celulosa) es uno de los estabilizantes usados en la industria láctea, el cual ha demostrado tener efectos muy buenos sobre los alimentos, pues posee un gran poder ligante, espesante, emulgente y de suspensión. Sin embargo, debe seleccionarse cada componente y las concentraciones pertinentes que conforman las bebidas alimenticias, con el propósito de lograr buena aceptación sensorial por parte de los consumidores, en especial si son niños con altas exigencias de aspectos organolépticos, pero también con alta demanda de componentes nutricionales adecuados para las etapas de crecimiento y desarrollo. A razón de lo anterior, el presente estudio tuvo como objetivo principal desarrollar de un producto derivado lácteo tipo

bebida alimenticia para infantes a partir de lactosuero como propuesta de generación de valor.

Materiales y métodos

Metodológicamente, el proyecto se desarrolló en el laboratorio de lácteos de la Universidad Pontificia Bolivariana sede Montería. El diseño y la obtención del producto derivado lácteo tipo bebida alimenticia para infantes a partir de lactosuero, se realizó mediante la utilización de materiales esenciales como una marmita modelo MT20 marca JAVAR, una bomba para hacer vacío, balanza analítica, papel de tamizado, cristalería de laboratorio como beaker de 100 ml y 500 ml y un equipo de pasteurización modelo PL 100 marca JAVAR. Las variables que se consideraron como criterios para el diseño del producto, fue la adición de carboximetilcelulosa CMC a una concentración de 0.2%, 0.4% y 0.6% p/p y la concentración de sacarosa de 6%, 7% y 8% como variables independientes. Como variables dependientes se consideraron variables fisicoquímicas y variables sensoriales como el sabor, la apariencia, el color y el olor. Las etapas requeridas para el desarrollo del producto, se ilustran en la Figura 1.

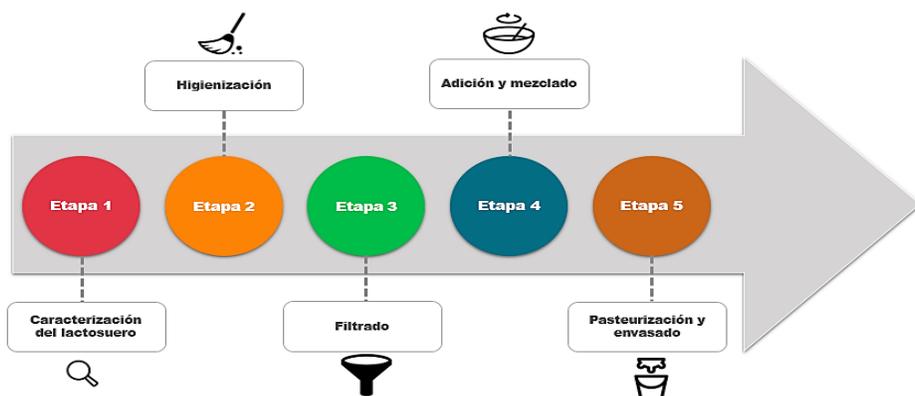


Figura 1. Etapas para la obtención del producto derivado de producto derivado lácteo tipo bebida alimenticia para infantes a partir de lactosuero.

Fuente: Los autores

Caracterización del lactosuero

Para la caracterización de la materia prima se tomaron dos muestras de lactosuero, a las cuales se les realizaron mediciones instrumentales con el propósito de identificar la carga microbiológica referente a cantidad de mesófilos y coliformes totales por el método de recuento de placas y salmonella por el método de presencia/ausencia. Adicionalmente, se realizaron mediciones de las características fisicoquímicas propias de la materia prima referentes con acidez (AOAC 947.05), pH (AOAC 981.12), sólidos totales (AOAC 925.105), proteínas (AOAC 92005), grasa (AOAC 989.04) y cenizas (AOAC 945.05). Todo lo anterior, con el propósito de identificar las condiciones iniciales de la materia prima, tratando de disponer de la materia prima con las mejores condiciones de estabilidad y calidad nutricional para la realización de la bebida.

Proceso de higienización

Después de realizados los análisis y la comprobación de que el lactosuero poseía las condiciones higiénicas mínimas requeridas para ser utilizado como materia prima de la bebida alimenticia, se realizaron actividades de transporte desde el punto de producción hasta las instalaciones de la planta de lácteos de la Universidad Pontificia Bolivariana, en donde se sometió a un proceso de higienización para bajar la carga microbiana contenida en la materia prima, el cual consistió en realizar un calentamiento durante 20 min a temperatura de 89 ± 7 °C.

Proceso de filtrado

Una vez finalizado el proceso de higienización, se procedió con el proceso de filtrado, este se realizó mediante la aplicación de vacío y utilizando como película de separación papel filtro. Esta etapa se realizó con el propósito de retirar el posible material particulado que suele encontrarse suspendido en el lactosuero, que de no ser retirado le darán aspecto indeseable al producto final.

Proceso de Adición y mezclado

Para adicionar los componentes sólidos a la bebida alimenticia para infantes referentes a cantidad de colorantes, saborizantes, conservantes, estabilizante y edulcorante, se tomó como base de cálculo la cantidad de

lactosuero disponible para el proceso. Por tanto, se procedió a realizar el pesaje de los componentes antes mencionados, intentando obtener un producto homogéneo a través de operaciones de mezclado, para ayudar a una mejor incorporación de los componentes sólidos en la marmita. En lo que respecta al colorante y saborizante (arequipe), se utilizaron las cantidades recomendadas por el fabricante. Para el conservante (benzoato de sodio), se utilizó una medida estándar de 0.1% p/p. El estabilizante (Carboximetilcelulosa), se utilizó a una concentración de 0.3% p/p.

En lo que respecta al edulcorante (sacarosa) se utilizó a una media de 8% p/p. Las selecciones adecuadas de estabilizante (CMC), edulcorante, se realizaron mediante la evaluación organoléptica, estableciendo el nivel de preferencia de la bebida de acuerdo al producto que presentó propiedades de viscosidad y sabor preferentes para los consumidores.

Proceso de pasteurización y envasado

El método escogido para este proceso fue realizar una pasteurización lenta, esta se realizó a 63°C durante 30 min, ello con el propósito de garantizar las condiciones de calidad microbiológica del producto final obtenido e intentar aporta un efecto obstáculo que permitiera la conservación del mismo por mayor tiempo antes de su consumo [10,11]. Para ello, como se mencionó anteriormente se utilizó un pasteurizador Modelo PL100, JAVAR.

En la etapa de envasado de la bebida alimenticia para infantes, se utilizaron envases de polietileno de alta densidad, esta etapa se realizó poco después de que el producto obtuvo una temperatura de 41°C por agitación, tratando de que la bebida obtenida proveniente del proceso de pasteurización permaneciera el menor tiempo posible sin envasar; el envasado se realizó en recipientes de 180 ml de contenido, los cuales son resistentes a temperaturas elevadas.

Una vez el producto estuvo empacado y rotulado, se almacenó en refrigeración para garantizar su conservación y una mejor experiencia sensorial, esta etapa se realizó a temperatura de 8°C.

Procedimiento estadístico

Para determinar el tamaño de la muestra a degustar el producto elaborado, inicialmente se realizó un muestreo aleatorio simple acompañado

de un muestreo estratificado. Para el cálculo del tamaño de la muestra, se utilizó la ecuación 1.

$$n = \frac{Z_a^2 \times p \times q}{d^2} \quad (1)$$

Donde, Z fue nivel de confianza, q fue la probabilidad de fracaso, p fue la probabilidad de éxito, o proporción esperada y d fue la precisión o el error máximo admisible en términos de proporción.

Una vez determinado el tamaño de la muestra, se realizó el muestreo estratificado sin reemplazo, se utilizó para el tamaño de los estratos el método de selección y de rechazo utilizando el algoritmo que se describe en la Figura 2.

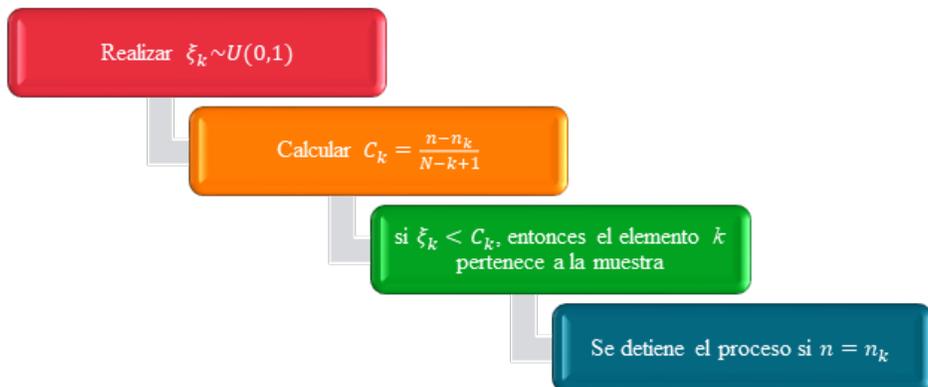


Figura 2. Pasos para el desarrollo del muestreo aleatorio estratificado.

Fuente: Los autores

En este estudio se realizó una bebida alimenticia para infantes, pero no se limitó el estudio solo a niños, sino que también fue de interés la percepción de niños y adolescentes, de tal manera de obtener su percepción frente al producto obtenido. Para ello, se definieron los estratos que se ilustran en la Tabla 1.

Tabla 1

Estratos configurados para la realización del muestro.

Ítem	Características del estrato
Estrato 1	Infancia temprana (3 a 6 años)
Estrato 2	Niñez media (7 a 10 años)
Estrato 3	Pubertad (11 a 14 años)
Estrato 4	Adolescencia (15 a 18 años)

Fuente: *Los autores*

Análisis de resultados

De forma seguida, como resultados del estudio en la Tabla 2 se ilustran los alores obtenidos para la caracterización fisicoquímica del lactosuero en su estado natural en la etapa de recepción, donde evidentemente es posible resaltar que el valor de pH supera el valor medio de 4.8 reportado por [12], lo cual indica que la muestra analizada estuvo ligeramente acida, pero con un valor esperado por la naturaleza de la materia prima. De igual forma, el contenido de grasa obtenido se encuentra dentro del rango de 0%- 5% reportado por [13], lo cual indica que la muestra evaluada no excede en el contenido de glóbulos grasos acto para muestras de lactosueros dulces, lo cual indica que el mayor contenido graso quedó contenido en el producto obtenido del proceso de elaboración del queso. En cuanto al contenido de proteínas, la muestra analizada está dentro del rango reportado por [14] de 0.89 a 7.28%.

Tabla 2

Resultados fisicoquímicos para la muestra de lactosuero.

Parámetro	Valor
pH	5.16
Grasa (g/100 g)	0.31
Proteína (g/100 g)	1.58
Acidez (g/100 g)	0.26
Solidos totales (g/100 g)	5.82
Cenizas (g/100 g)	0.46

Fuente: *Los autores*

Con respecto al contenido de sólidos, la muestra analizada presentó un valor inferior para el contenido de sólidos totales obtenido por de 6.0 % y 7.3 % reportado [15], lo cual indica que el valor obtenido referente contenido de proteína, lactosa, sales minerales que contenida el lactosuero analizado fue inferior a los evaluados en dicho estudio, lo cual está relacionado con la alimentación de animal en pie, época del año y a la eficiencia del proceso de elaboración del queso. Finalmente, para el contenido de cenizas el valor reportado por [14] de 0.21 %-1.08 % es congruente con el valor que se obtuvo para la muestra evaluada en este estudio. Dada la caracterización fisicoquímica del lactosuero, es posible inferir que la muestra analizada es de buena calidad y que puede ser utilizada para la elaboración de la bebida alimenticia para infantes, sin embargo, se hizo necesario presentar los resultados obtenidos de los análisis microbiológicos realizados, y con ello, confirmar las condiciones de inocuidad de la materia prima analizada. Para ello, en la Tabla 3 se ilustran los resultados obtenidos para los análisis microbiológicos.

Los resultados obtenidos indican que en el recuento de microorganismos mesófilos aerobios facultativos, la muestra evaluada obtuvo un valor acorde con lo establecido en la Resolución 2310 1986 de derivados lácteos, el cual establece que el límite permitido debe ser de 10000 a 50000, lo que indica buena calidad sanitaria en la muestra con respecto a esta medición. De igual forma, el valor obtenido para coliformes totales está dentro de lo establecido por esta resolución que indica un valor inferior a 40 NMP/ml. Finalmente, cabe resaltar que los análisis de salmonella y coliformes fecales resultaron ser negativos, lo cual no solo confirma las buenas condiciones microbiológicas de las muestras, sino que también dio vía libre para proceder a las actividades de procesamientos de estas muestras y así obtenerla bebida nutricional para infantes, partiendo de una materia prima con buenos parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.

Tabla 3
Análisis microbiológico de la muestra de lactosuero.

Ítem	Valor
Recuento de microorganismos mesófilos aeróbicos y facultativos viables	1x10 ⁴ UFC/ml
Coliformes totales	3 NPM/ml
Presencia de salmonela	Negativo
Presencia de coliformes fecales	Negativo

Fuente: *Los autores*

Una vez obtenidos las condiciones de calidad de la materia prima, se realizó la caracterización fisicoquímica de la bebida alimenticia para infantes desarrollada a partir de lactosuero, los resultados obtenidos se ilustran en la Tabla 4. Analizando los resultados obtenidos para el producto final, se puede observar que la acidez aumento de 0.26 a 1.4 cuando la bebida ya estaba preparada, el pH paso de 5.16 a 5.99, lo cual nos dice que no es una bebida acida y más bien tiende hacer una bebida neutra, favoreciendo aspectos de sabor y ampliando las posibilidades de consumo para aquellas personas que presentan problemas digestivos respecto a la acidez; igual efecto se presentó con el contenido de grasa y con los sólidos totales, indicando una concentración de compuestos sólidos por efecto del proceso producto de transformación.

Tabla 4
Resultados fisicoquímicos para la bebida alimenticia a partir de lactosuero.

Parámetro	Valor
pH	5.99
Grasa (g/100 g)	2.35
Proteína (g/100 g)	2.87
Acidez (g/100 g)	1.40
Sólidos totales (g/100 g)	15.27
Cenizas (g/100 g)	2.35

Fuente: *Los autores*

Luego de identificar los porcentajes de cada uno de los componentes del lactosuero, se podreció a experimentar con las diferentes concentraciones de componentes sólidos propuestos en la metodología. Al experimentar con el edulcorante (sacarosa) se pudo escoger de una manera fácil, ya que

esta bebida está destinada principalmente a infantes y se ha establecido que en la mayoría de los casos los niños escogen bebidas o alimentos que tengan sabor dulce [16], es por tal razón, que el porcentaje que se escogió fue del 8% p/p. Al momento de la escogencia del estabilizante, se tuvo un poco más de dificultad ya que los porcentajes planteados fueron muy elevados y ello derivó a que la bebida tomara una alta viscosidad, lo cual desfavorecía el efecto deseado para el producto final, y por tal razón, se optó por bajar aún más el porcentaje y se decidió escoger un 0.3% p/p, lo cual permitió obtener una bebida con la viscosidad ideal, la cual, se ve reflejada en el resultado tan exitoso de las instrumentos de medición de variables sensoriales aplicados.

En la Figura 3, se ilustran los resultados obtenidos para la medición de la valoración general de la bebida nutricional diseñada para infantes, donde es posible inferir que, para todos los estratos evaluados, las valoraciones de mayores porcentajes fueron las opciones “Muy buena” y “Buena”, de lo cual se resalta que para el estrato 2, Niñez media (7 a 10 años) que fue el principal sector identificado para el diseño de la bebida alimenticia la valoración general de “Muy buena” fue del 72%, por tanto, es posible inferir que la bebida puede tener muy buena aceptación frente a sus atributos organolépticos y de apariencia, lo que permite una buena valoración general por parte de los posibles consumidores.

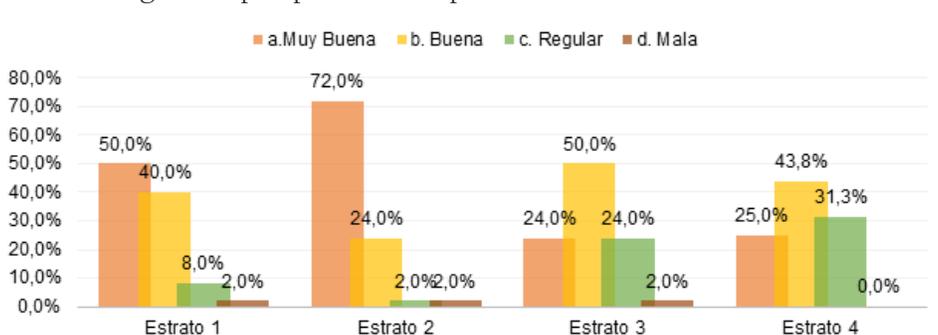


Figura 3. Valoración general acerca de la bebida nutricional a partir de lactosuero por parte de los consumidores.

Fuente: Los autores

En este mismo orden, en la Figura 4 se ilustran los resultados obtenidos para la percepción del sabor por parte de los potenciales consumidores de la bebida alimenticia, de la cual es posible analizar que en todos los estratos

la percepción del sabor fue valorada con altos porcentajes para los ítems “Muy agradable” y “Agradable”, es por esto que es posible inferir que las concentraciones de edulcorantes y de conservantes seleccionados de 8% p/p y 0.3% p/p, respectivamente no afectaron los atributos organolépticas del sabor, sino que por su parte la concentración de sacarosa acompañada del saborizante de arequipe permitió obtener un producto con buena recepción por parte del panel de consumidores que lo evaluaron.

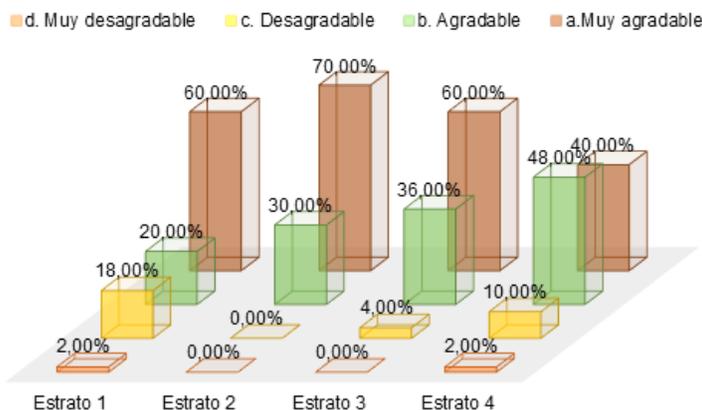


Figura 4. Percepción del sabor de la bebida nutricional por parte de los consumidores.

Fuente: Los autores

En el atributo de sabor, también se resalta el porcentaje obtenido para el estrato 2, correspondiente con Niñez media (7 a 10 años), donde el 70% de los participantes consideró que la bebida en cuanto a su aspecto de sabor es “Muy agradable”, indicando que este estrato para el cual se enfocó inicialmente como potencial sector de mercado interesado, efectivamente ha dado una respuesta favorable frente a la aceptación del sabor del producto, sin embargo, los demás estratos también coincidieron con esta apreciación, indicando que la bebida puede tener cabida en esos sectores de mercado bajo un buen esquema de inteligencia competitiva que se desarrolle para tal propósito.

En última instancia, con respecto a la valoración del olor (Figura 5) es posible resaltar que los resultados coinciden con la valoración general del producto y con los resultados de sabor, puesto que, con respecto a este otro atributo organoléptico, los participantes indicaron que también les

resultó muy “Muy agradable”, indicando que este atributo también fue bien recibido por parte del panel consumidor.

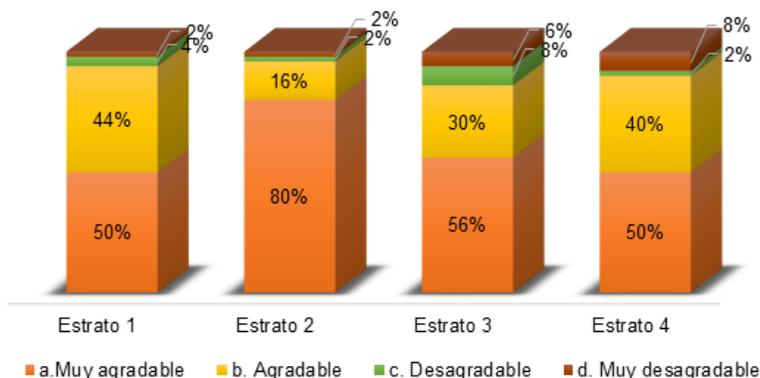


Figura 5. Percepción del olor de la bebida nutricional por parte de los consumidores.

Fuente: Los autores.

Una vez analizados los resultados fisicoquímicos, microbiológicos y sensoriales, es posible afirmar que la generación de valor tecnológico a través del desarrollo de una bebida nutritiva para infantes, es una buena alternativa de aprovechamiento agroindustrial que sin duda alguna resulta ser una respuesta productiva con buenas propiedades nutricionales, microbiológicas y aceptación sensorial que puede materializarse como una unidad estratégica de negocio que represente avances económicos para el sector lácteo y los sectores económicos involucrados.

Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos y del análisis realizado, es posible concluir que la bebida nutricional obtenida representa una buena alternativa de aprovechamiento agroindustrial para un residuo abundante y con alto valor nutricional como es el caso del lactosuero. Además, no solo representa la generación de un producto novedoso, sino que también contribuye en temas de seguridad alimentaria para un sector de alta exigencia de requerimientos sensoriales y nutricionales como es el caso de los infantes, pero que también puede ser consumido por jóvenes en etapas

de pubertad y adolescencia, lo cual amplía un abanico de posibilidades en tema de planificación de estrategias de mercados.

Por otro lado, al estudiar todos los análisis de laboratorio se pudo determinar que la bebida puede ser apta para consumo humano y que puede ser utilizada como una bebida para uso alimenticio, ya que es posible obtener una bebida nutricional con buenas condiciones de calidad microbiológica, una buena valoración sensorial y condiciones fisicoquímicas acordes a los requerimientos reportados en la bibliografía.

Referencias

- [1] Fernández Fernández, E., Martínez Hernández, J. A., Martínez Suárez, V., Villares, M., Manuel, J., Collado Yurrita, L. R., ... y Morán Rey, F. J. Documento de Consenso: importancia nutricional y metabólica de la leche. *Nutrición Hospitalaria*. 2015; 31(1): 92-101.
- [2] Durá-Travé, T. Ingesta de leche y derivados lácteos en la población universitaria. *Nutrición Hospitalaria*. 2008; 23(2):89-94.
- [3] McCance, R., & Widdowson, E. M. The Composition of Foods, sixth summary edition. Medical Research Council Special Report Series. 2002; 290-297.
- [4] Gómez Osorio, L. M., Posada Ochoa, S. L., Olivera Ángel, M., Rosero Noguera, R., & Aguirre Martínez, P. Análisis de rentabilidad de la producción de leche de acuerdo con la variación de la fuente de carbohidrato utilizada en el suplemento de vacas holstein. *Revista de Medicina Veterinaria*. 2017;(34): 9-22.
- [5] Parra Huertas, R. A. Lactosuero: importancia en la industria de alimentos. *Revista Facultad Nacional de Agronomía-Medellín*. 2009;62(1).
- [6] Foegeding, E., y Luck, P. Whey protein products. 1957-1960. *Encyclopedia of Foods Sciences and Nutrition*. Academic Press, New York, (2002).
- [7] Silva, M. F., Fornari, R. C., Mazutti, M. A., de Oliveira, D., Padilha, F. F., Cichoski, A. J., ... y Treichel, H. Production and characterization of xanthan gum by *Xanthomonas campestris* using cheese whey as sole carbon source. *Journal of Food Engineering*. 2009; 90(1):119-123.

- [8] Aider, M., de Halleux, D., y Melnikova, I. Skim acidic milk whey cryoconcentration and assessment of its functional properties: Impact of processing conditions. *Innovative food science & emerging technologies*. 2009; 10(3):334-341.
- [9] Sprer, Edgar. *Lactologia industrial*. Zaragoza (España): Editorial Acribia S.A 1991 452-461p, 526-541p, Tratnik, L. Y Kiser, L. Production of fermented beverages from milk with desmineralized whey. *Milchwissenchaf*. 1998;695-698
- [10] Tirado, D. F, Yacub, B., Cajal, J. V., Murillo, L., Leal, R. F, Franco, M. Y., ... y Acevedo, D. Pasteurizador de leche para la elaboración de suero costeño. *Entre Ciencia e Ingeniería*. 2017; 11(21).
- [11] Osorio, O., Villareal, Y., Mejia, D. F, y Ceron, A. F Efecto de pasteurización sobre características sensoriales y contenido de vitamina c en jugos de frutas. *Ingresar a la Revista*. 2015; 11(2): 66-75.
- [12] Hernández, J. C., García, F P, Cruz, V. E. R., Santillán, Y. M., y Marzo, M. A. M. Caracterización fisicoquímica de un lactosuero: potencialidad de recuperación de fósforo. *Acta Universitaria*. 2012; 22(1): 11-18.
- [13] Abaigar, A. El lactosuero en la alimentación del ganado porcino. *ITG Ganadero*. ISSN-948-5656. 2009; 13-17.
- [14] Álvarez Mira, M. C. Caracterización fisicoquímica de los diferentes tipos lactosueros producidos en la Cooperativa Colanta LTDA (Doctoral dissertation, Corporación Universitaria Lasallista). 2013.
- [15] Viteri, C. A., de Illera, M. G., y Pantoja, J. A. M. Caracterización fisicoquímica del suero dulce obtenido de la producción de queso caseero en el municipio de Pasto. *Revista Colombiana de investigaciones agroindustriales*. 2014;1:22-32.
- [16] Rivera, N. H. C., y Lagunes, I. R. Preferencias alimentarias y su asociación con alimentos saludables y no saludables en niños preescolares. *Acta de investigación psicológica*. 2014; 4(1): 1385-1397.

Implementación del Proceso Analítico Jerárquico (AHP) para la toma de decisiones en la gestión de abastecimiento; aplicación a una empresa productora de queso costeño

Implementation Analytic Hierarchy Process (AHP) for decision making in managing supply; application to a company producer of queso costeño

César Vergara Rodríguez¹
Gean Pablo Mendoza Ortega²
Rodrigo Salgado Ordosgoitia³

Resumen

El proceso de toma de decisiones se basa en la selección de un curso de acciones a seguir, basándose en una serie de criterios, en busca de alcanzar uno o varios objetivos. Existen situaciones en las que este proceso, contempla varios objetivos o criterios de decisión que se deben tener en cuenta de forma simultánea, debido a este tipo de situaciones han nacido las metodologías multicriterio para la toma de decisiones, como herramientas de apoyo para el ser humano. El Proceso Analítico Jerárquico (AHP) es una herramienta para la toma de decisiones multicriterio en ambientes complejos, la cual plantea la problemática de una forma lógica y racional. En este trabajo se emplea la metodología AHP para la toma de decisiones en la gestión del abastecimiento en una empresa productora de Queso Costeño en el departamento de Sucre (Colombia).

1 Docente Facultad de Ciencias Básicas, Ingeniería y Arquitectura, Corporación Universitaria del Caribe, Sincelejo, Colombia.

2 Docente Facultad de Ciencias Básicas, Ingeniería y Arquitectura, Corporación Universitaria del Caribe, Sincelejo, Colombia.

3 Docente Facultad de Ciencias Básicas, Ingeniería y Arquitectura, Corporación Universitaria del Caribe, Sincelejo, Colombia.

Implementación del Proceso Analítico Jerárquico (AHP) para la toma de decisiones en la gestión de abastecimiento; aplicación a una empresa productora de queso costeño

Palabras clave: Toma De Decisiones, Metodologías Multicriterio, Proceso Analítico Jerárquico.

Abstract

The decision making process is based on selecting a course of action to be based on a number of criteria, seeking to achieve one or more objectives. There are situations in which this process includes several objectives or decision criteria to be taken into account simultaneously, because such situations were born multicriteria methodologies for decision- support tools as humans. The Analytic Hierarchy Process (AHP) is a tool for multi-criteria decision making in complex environments, which poses the problem in a logical and rational way. In this work the AHP methodology for decision making in supply management in a company producing in the Queso Costeño is used Sucre department (Colombia).

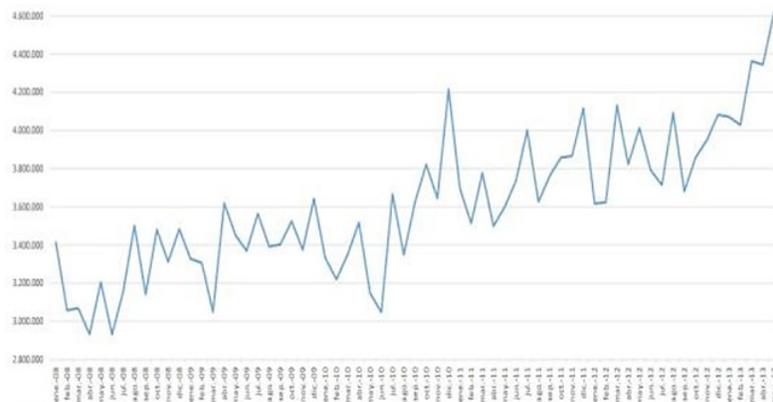
Keywords: Decision Making, Multicriteria Methodologies, Analytic Hierarchy Process.

Introducción.

Gracias a su ubicación estratégica, una de las ventajas comparativas que posee Colombia como país es su diversidad climática, lo que le permite ofrecer una diversidad gastronómica en materia de quesos, donde podemos encontrar quesos salados, dulces, blandos, maduros, frescos, todo depende de la preferencia del cliente y la región donde se quiera adquirir el producto. La oferta regional de quesos en este país la conforma productos como: el queso costeño, el quesito antioqueño, el quesillo tolimense y huilense, entre otros [1].

Según estudios realizados por Nielsen en el año 2013, el consumo de queso en Colombia llegó a las 49.524 toneladas en este año, teniendo un consumo promedio de 1,1 kg/año por colombiano. Esta cifra dista significativamente de los promedios manejados en Argentina, en donde este consumo es de 11 kilogramos año y los de Chile y Venezuela que se encuentran cercanos a los 4 kilogramos año. La brecha se amplía cuando comparamos el promedio de consumo colombiano, con países europeos como Francia, en donde el promedio de consumo de queso de un francés es aproximadamente 26,3 kilogramos por año [2].

Pese a estas estadísticas de consumo, el sector productor de queso en Colombia ha registrado una tendencia creciente (Figura 1) pasando de una producción de 3.400.000 kg de queso en enero de 2008, a una producción de más 4.400.000 kg de queso en enero de 2013, [3].



Fuente: elaboración GIE - Delegatura para la Protección de la Competencia – SIC, a partir de MADR (2013).

Figura 1. Producción queso en Colombia (kg/mes)

Particularmente, el queso costeño es un queso producido con leche descremada, con contenido graso entre el 2,5% y el 3,5%, es de color blanco, fresco y en su fabricación el proceso de salado esta alrededor de 2 horas como también, posee un prensado con 20 veces el peso de este [4]

La mayor producción de este tipo de queso se encuentra en los departamentos de Cesar, Magdalena, Atlántico, Bolívar, Córdoba, Sucre y algunas zonas cálidas en el departamento del Meta [5]. El uso que normalmente le da la industria a este tipo de queso, está en el sector panificador, utilizado preferiblemente en la fabricación de buñuelos, producto que hace parte de gastronomía típica colombiana.

Dentro del sector productor de queso costeño en la costa atlántica colombiana, se ha evidenciado que una de los procesos que demanda más recursos es la gestión del abastecimiento que emplean las empresas para la recolección de la leche, como materia prima esencial para el proceso de producción de queso.

Según Chopra y Meindl [6] “El transporte se refiere al movimiento del producto de un lugar a otro en su recorrido desde el principio de la cadena de suministro hasta el cliente”. Dentro de las directrices trazadas por las cadenas de suministros, el transporte ocupa una posición de alto interés, ya que rara vez los productos son fabricados en el mismo sitio donde se obtienen las materias primas, y de igual forma, el mercado objetivo en pocas ocasiones comparte la misma ubicación de las plantas productoras. Adicionalmente a esta panorámica, el transporte es un elemento relevante dentro de los costos en que incurre la cadena de suministros.

Por todo lo antes expuesto, la eficiencia y rentabilidad de la cadenas están fuertemente ligada a las decisiones que se tomen con respecto al uso apropiado del transporte [6]

Para tener una mejor comprensión acerca del transporte en la cadena de suministro, es esencial entender el punto de vista de los actores que lo conforman. Uno de ellos es el expedidor, que es la parte que necesita que el producto se mueva entre dos puntos. El por su parte, esta interesado en minimizar el costo del transporte, los inventarios, la información, el abastecimiento y las instalaciones. De igual forma que proporcionar un buen nivel de atención al cliente [7]

El transportista es la parte que transporta el producto. Las decisiones que toma este, giran en torno a inversiones en equipos de transporte y en algunas situaciones, el tipo de infraestructura. También este actor toma decisiones en torno a la optimización de la actividad en busca de maximizar la rentabilidad de los activos [7]

La búsqueda constante que tienen las organizaciones para encontrar la productividad, la eficiencia y la competitividad, apoya el desarrollo de herramientas de toma de decisión complejas en ambientes con múltiples criterios de selección. Estas herramientas buscan suprimir el pensamiento intuitivo que acompaña a la mayoría de las decisiones que se toman con referencia a problemas complejos [8]

En este trabajo se emplea la metodología AHP para tomar la decisión de donde realizar la mejor inversión para mejorar el sistema de abastecimiento en una empresa sucreña productora de queso costeño. Para esta investigación se validaran dos escenarios: 1) el primer escenario se plantean proveedores ubicados en zonas de difícil acceso y 2) En el segundo escenario, no existe dificultades para el acceso a proveedores. A continuación se presente el fundamento teórico de los procesos de toma de decisión multicriterio.

Métodos de decisión y evaluación multicriterio

Los métodos de decisión y evaluación multicriterio trabajan la elección entre un conjunto de opciones factibles, la optimización con varias funciones objetivo y un agente de toma de decisiones. Estos métodos son utilizados para la toma de decisiones frente a problemas que abarcan aspectos intangibles a evaluar [9]

Se denominan problemas de decisión multicriterio discretos aquellos en los que las alternativas de decisión son finitas. Estos problemas son los más encontrados regularmente y son los que en este trabajo se tendrán en cuenta, [9]. Dentro de los métodos de decisión y evaluación multicriterio discretos los más conocidos son: Ponderación Lineal (Scoring), Utilidad Multiatributo (MAUT) y El Análisis Jerárquico (AHP) [9].

El método de ponderación lineal o Scoring, permite trabajar situaciones con pocos niveles de información. En este se fabrica una

Implementación del Proceso Analítico Jerárquico (AHP) para la toma de decisiones en la gestión de abastecimiento; aplicación a una empresa productora de queso costeño

función de valor para cada alternativa. Este es un método compensatorio y manipulable, pero de igual forma sencillo y utilizado a nivel mundial [9]

Por otra parte el método de utilidad multiatributo (MAUT) determina para cada atributo su función de utilidad (parcial), para luego agregarlas en una función de utilidad multiatributo. Después de que se determine la utilidad para cada alternativa se obtiene la ordenación del conjunto finito de alternativas [9].

Materiales y métodos

Estructura metodológica del Proceso Analítico Jerárquico (AHP)

A continuación se describirá el Proceso Analítico Jerárquico, metodología utilizada en este trabajo para tomar decisiones en la gestión de abastecimiento en una empresa productora de queso costeño.

Conformación del Modelo Jerárquico

A través de la construcción de un modelo jerárquico, el AHP facilita la organización de la información de una forma gráfica, la desagregación de esta y su posterior análisis. El AHP tiene sus fundamentación en:

- La conformación de un modelo jerárquico
- Priorización de los elementos del modelo
- Cotejos binarios entre los elementos
- Análisis de los elementos a través de la asignación de pesos.
- Ranking de las alternativas
- Síntesis
- Y análisis de sensibilidad.

Estructura Del Modelo AHP

La estructuración jerárquica del problema, constituye la parte más importante de método AHP. En esta parte el grupo decisor elegido debe desagregar el problema en sus partes más relevantes. La base de la jerarquía

básica está constituida por: meta u objetivo general, criterios y alternativas [9]

A continuación se enumeraran los pasos para la fabricación del modelo jerárquico (Figura 2):

1. Identificación del Problema
2. Definición del Objetivo
3. Identificación de Criterios e
4. Identificación de Alternativas.

La identificación del problema es la situación que se le quiere dar solución a través de la escogencia de una de las alternativas que se posee o la priorización de ellas. Estas serán evaluadas unas con otras mediante los criterios escogidos.

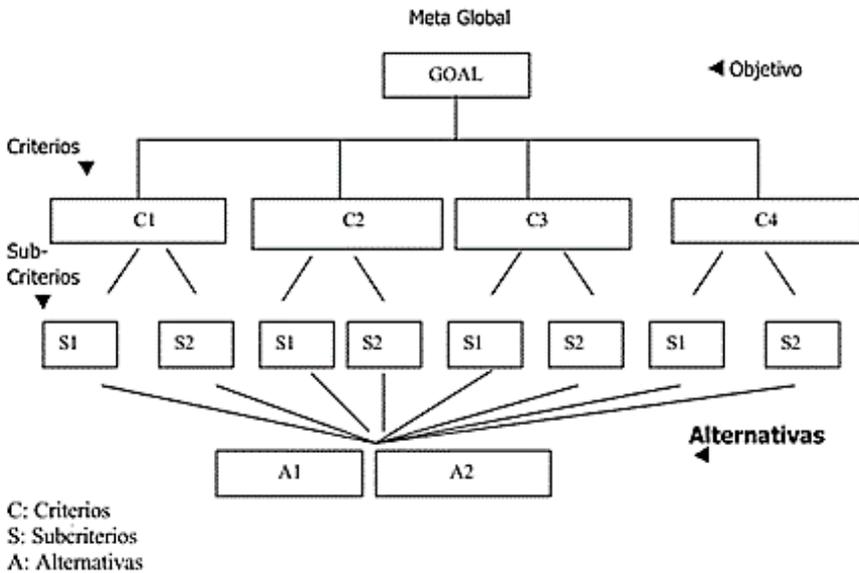


Figura 2. Modelo Jerárquico para la Toma de Decisiones con el AHP

La definición del objetivo se encuentra en un nivel independiente con respecto a los otros elementos jerarquizados. Este objetivo será determinado por el grupo decisor, que representara las necesidades de la organización; la identificación de criterios son los principales aspectos que impactan a los objetivos y deben marcar preferencias de los involucrados en el proceso de toma de decisión. Es preferible incluir aspectos tanto cualitativos como cuantitativos en la toma de decisión [9].

La identificación de las alternativas se refiere a opciones factibles por medio de las cuales se podrán lograr el objetivo general. Cada una de las alternativas posee características con pro y contras [9]

Evaluación del Modelo

En esta parte se analizan los elementos del problema a través de comparaciones por pares de forma independiente. Los analistas son los encargados de emitir los juicios por los cuales se realizan este tipo de comparaciones. Los pasos a seguir para la realización de la evaluación de los elementos del modelo son: el establecimiento de las prioridades y la emisión de juicios y evaluaciones [9].

Después de la definición del modelo jerárquico, se determina la importación relativa de cada una de sus partes en la fase de establecimiento de prioridades. En la parte de emisión de juicios y las evaluaciones, estos pueden estar influenciados por información técnica, la experiencia y conocimientos particulares del grupo decisor [9].

El modelo AHP posee de una escala elaborada por el propio Saaty⁴, que evalúa los juicios expresados por el grupo decisor (Figura 3). El paso de la emisión de juicios trata de: para cada elemento perteneciente a un nivel de jerarquía, se compara de a pares de ellos. Seguidamente se encuentra el vector propio relacionado al valor propio más grande de la matriz de comparación por pares [9].

ESCALA NUMERICA	ESCALA VERBAL	EXPLICACION
1.0	Ambos elementos son de igual importancia.	Ambos elementos contribuyen con la propiedad en igual forma.
3.0	Moderada importancia de un elemento sobre otro.	La experiencia y el juicio favorece a un elemento por sobre el otro.
5.0	Fuerte importancia de un elemento sobre otro.	Un elemento es fuertemente favorecido.
7.0	Muy fuerte importancia de un elemento sobre otro.	Un elemento es muy fuertemente dominante.
9.0	Extrema importancia de un elemento sobre otro.	Un elemento es favorecido, por lo menos con un orden de magnitud de diferencia.
2.0,4.0,6.0,8.0	Valores intermedios entre dos juicios adyacentes.	Usados como valores de consenso entre dos juicios.
Incrementos de 0.1	Valores intermedios en la graduación más fina de 0.1 (Por ejemplo 5.2 es una entrada válida).	Usados para graduaciones más finas de los juicios.

Figura 3. Escala De Saaty

4

Matemático de la Universidad de Pennsylvania, Creador del AHP

El proceso se continúa hasta acabar todas las comparaciones de los componentes del modelo (criterios y alternativas). Cuando se hayan realizado todas las comparaciones se obtiene un resultado final en donde aparecen todas las alternativas ordenadas por prioridad [9].

Resultados

Uno de los principales productos del municipio de Sincé es el queso costeño, el cual ha sido por décadas el sustento de centenares de hogares de esta zona; dentro del proceso de producción uno de los principales problemas es la baja eficiencia en la recolección de la leche de sus proveedores, como materia prima esencial de este producto.

Este trabajo se enfocó en utilizar una metodología de toma de decisiones multicriterio discreta para la selección de una opción de inversión en medios de transporte que le permita a una empresa productora de queso costeño particular en el municipio de Sincé mejorar su gestión de abastecimiento, teniendo como criterios de evaluación la menor inversión inicial posible, la capacidad y la accesibilidad a todos sus proveedores de leche.

La metodología seleccionada para realizar la toma de decisiones es el Proceso de Análisis Jerárquico. En esta investigación se validaran dos escenarios, en el primero el acceso a los proveedores reviste una problemática, y en el segundo esta dificultades no se presenta.

A continuación se describirá la implementación de los dos escenarios de este proceso en la empresa productora de queso costeño en el municipio de Sincé.

Conformación Del Diagrama Jerárquico

La empresa productora de queso designó como grupo decisor para este proyecto a la asistente administrativa, el supervisor de producción y un proveedor. Quienes se reunieron, y determinaron que el objetivo principal era seleccionar un medio de transporte para la recolección de la leche desde los proveedores.

Las opciones que se manejaban para mejorar el abastecimiento de leche en la empresa era la compra de un parque de motos, de una camioneta o un camión liviano. Los criterios por los cuales se debería tomar la decisión serían el costo fijo inicial, la capacidad y el nivel de acceso a los proveedores que presenta cada una de las alternativas. A continuación se presenta el diagrama jerárquico de esta problemática (Figura 4).

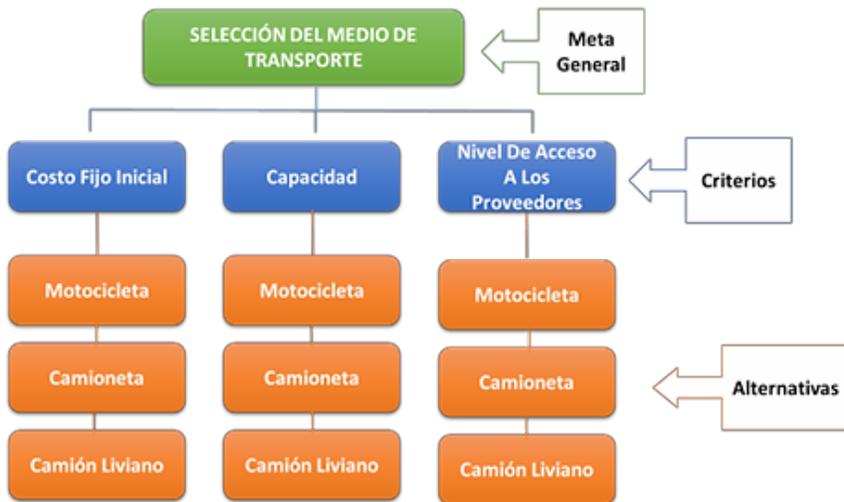


Figura 4. Diagrama Jerárquico

Después de definido el objetivo principal, las alternativas y los criterios de decisión, se procedió a reunir información que permitiera producir juicios coherentes.

En las siguientes tablas se detalla la información recabada, con respecto a inversión inicial, capacidad y nivel de acceso para cada opción tenida en cuenta, y por cada escenario evaluado (Tabla 1 y 2).

Tabla 1

Información Inicial (Escenario 1: difícil acceso a proveedores).

Criterios Alternativas	Costo Fijo Inicial (\$)	Capacidad (L)	Nivel De Acceso A Los Proveedores (%)
Motocicleta	\$ 33.290.000,00	400	100
Camioneta	\$ 67.250.000,00	360	70
Camion Liviano	\$ 68.510.000,00	800	40

Tabla 2
Información Inicial (Escenario 2: Sin dificultad en el acceso a proveedores).

Criterios Alternativas	Costo Fijo Inicial (\$)	Capacidad (L)	Nivel De Acceso A Los Proveedores (%)
Motocicleta	\$ 33.290.000,00	400	100
Camioneta	\$ 67.250.000,00	360	100
Camion Liviano	\$ 68.510.000,00	800	100

Conformación Del Modelo De Análisis Jerárquico

Inicialmente se realizó una reunión con el equipo decisor seleccionado por la empresa y se hizo el análisis por pares de las alternativas (motocicleta, camioneta, camión liviano), por criterios (costo fijo inicial, capacidad y nivel de acceso a proveedores) y por escenario evaluado (buen acceso a proveedores, mal acceso a proveedores). Cabe anotar que cuando se evaluaron estas matrices en los dos escenarios, solo se registraron cambios entre los escenarios cuando se evaluaron las matrices de comparación por pares de alternativas bajo el criterio de acceso a proveedores.

Utilizando la escala de Saaty, se construyeron las matrices de comparación por pares para cada una de las alternativas, por criterio y cada uno de escenarios evaluados.

Para cada alternativa, teniendo en cuenta el criterio de costo fijo inicial, y evaluando en el primer escenario, tenemos la siguiente matriz de comparación por pares (Tabla 3):

Tabla 3
Matriz de Comparación. Criterio Costo Fijo Inicial. Escenario

Criterio:	Costo Fijo Inicial		
	Motocicleta	Camioneta	Camión Liviano
Motocicleta	1	5	5
Camioneta	1/5	1	1
Camion Liviano	1/5	1	1
Σ	1 2/5	7	7

1. En la tabla anterior se puede apreciar que la opción de las motocicletas es fuertemente preferida (5, escala de Saaty) con relación a la opción de la camioneta.

Este procedimiento se repite para las otras alternativas como se muestra en la Figura 5 y la figura 6.

Matriz de comparación Por Pares-Alternativas			
Criterio:	Capacidad		
	Motocicleta	Camioneta	Camion Liviano
Motocicleta	1	2	1/5
Camioneta	1/2	1	1/4
Camion Liviano	5	4	1
Σ	6 1/2	7	14/9

Figura 5. Matriz De Comparación. Capacidad. Escenario 1.

Matriz de Comparacion Por Pares-Alternativas			
Criterio:	Acceso A Proveedores		
	Motocicleta	Camioneta	Camion Liviano
Motocicleta	1	5	8
Camioneta	1/5	1	3
Camion Liviano	1/8	1/3	1
Σ	1 1/3	6 1/3	12

Figura 6. Matriz de comparación. Criterio acceso a proveedores. Escenario 1.

Como ya se había marcado anteriormente, los cambios de las matrices de comparación por pares de alternativas entre los dos escenarios se presentaron cuando se evaluó el criterio de acceso a proveedores tabla 4.

De igual forma, también se construyó la matriz de comparación por pares para los criterios (Tabla 5). En ella se aprecia que por ejemplo, el criterio de acceso a proveedores es fuertemente preferida (5, en la escala de Saaty) con relación al criterio de capacidad.

Tabla 4

Matriz de comparación. Criterio acceso a proveedores. Escenario 2.

Criterio:	Acceso A Proveedores		
	Motocicleta	Camioneta	Camión Liviano
Motocicleta	1	1	1
Camioneta	1	1	1
Camión Liviano	1	1	1
Σ	3	3	3

Seguidamente todas las matrices de comparación por pares creadas, fueron normalizadas. De igual forma como ocurrió con las matrices de comparación por pares, solo se apreció diferencia en estas entre los escenarios, en las matrices que tenían como criterio de selección el acceso a proveedores.

Tabla 5

Matriz de comparación. Criterios. (Independiente de los escenarios)

	Costo Fijo Inicial	Capacidad	Acceso a Proveedores
Costo Fijo Inicial	1	2	1/4
Capacidad	1/2	1	1/5
Acceso a Proveedores	4	5	1
Σ	5 1/2	8	1 4/9

En la tabla 6 se muestra la matriz de comparación por pares normalizada de las opciones teniendo como criterio el costo fijo inicial.

Tabla 6
Matriz de comparación por pares normalizada. Escenario 1

Criterio:	Costo Fijo Inicial		
	Motocicleta	Camioneta	Camion Liviano
Motocicleta	0,71	0,71	0,71
Camioneta	0,14	0,14	0,14
Camión Liviano	0,14	0,14	0,14

A continuación se calculó el vector de priorización asociado al mayor valor propio de cada una de estas matrices (Tabla 7).

Tabla 7
Vector de priorización asociado a la matriz de comparación que tiene como criterio el costo fijo inicial. Escenario 1.

Vector Prioridad	
Criterio:	Costo Fijo Inicial
Motocicleta	0,71
Camioneta	0,14
Camion Liviano	0,14

En el vector de prioridad encontrado para las alternativas, teniendo en cuenta como criterio de selección el costo fijo inicial y evaluándolo en el primer escenario, se evidencia que si solo se tuviera en cuenta este criterio de selección, la motocicleta sería la mejor opción con una priorización de aproximadamente el 71%.

Seguidamente se armó la matriz de prioridad para cada escenario evaluado, con todos los vectores de priorización encontrados (Tabla 8 y 9)

Tabla 8
Matriz de Prioridad. Escenario 1.

Criterios/ Alternativas	Costo Fijo Inicial	Capacidad	Acceso A Proveedores
Motocicleta	0,71	0,19	0,74
Camioneta	0,14	0,13	0,19
Camion Liviano	0,14	0,68	0,08

Tabla 9
Matriz de Prioridad. Escenario 2.

Criterios Alternativas	Costo Fijo Inicial	Capacidad	Acceso A Proveedores
Motocicleta	0,71	0,19	0,33
Camioneta	0,14	0,13	0,33
Camion Liviano	0,14	0,68	0,33

En las matrices de prioridad anteriores se puede notar que la diferencia principal radica en el vector de prioridad que aporta el criterio de acceso a proveedores. Este vector, para el caso particular del escenario 2, no aporta ningún criterio de decisión sobre las alternativas evaluadas, ya que no prioriza ninguna de ellas (Tabla 8).

Por último, para obtener la priorización de las alternativas propuestas según el escenario escogido. Esta se encuentra al multiplicar cada matriz de prioridad por el vector propio obtenido de la matriz de comparación por pares de las alternativas teniendo como resultado la priorización de las alternativas (Tablas 10 y 11)

Tabla 10
Vector de Priorización de las alternativas. Escenario 1.

Vector de Prioridad de las Alternativas	
Motocicleta	0,67
Camioneta	0,17
Camión Liviano	0,16

Tabla 11
Vector de priorización de las alternativas. Escenario 2.

Vector de Prioridad de las Alternativas	
Motocicleta	0,39
Camioneta	0,2
Camion Liviano	0,34

Conclusiones y recomendaciones

Después de realizar el anterior estudio se llegaron a las siguientes conclusiones:

Metodologías como la propuesta por Saaty, son herramientas que apoyan la toma de decisiones dentro de las organizaciones, cuando existen múltiples criterios de decisión. Esta metodología realiza un análisis de prioridad por pares de cada una de las alternativas frente a cada criterio de decisión, arrojando al final una priorización de estas según los criterios de selección elegidos.

En la implementación de la metodología de análisis jerárquico de Saaty, es de vital importancia que el grupo decisor tenga conocimiento pleno de la problemática, ya que a partir de los juicios emitidos por ellos, es que parte la priorización de las alternativas. Adicionalmente, esta metodología también nos permite calcular un índice de consistencia que nos deja ver la coherencia de la calificación realizada en la comparación por pares de los elementos del modelo. Si este índice es menor que 0,1 se asume que los juicios emitidos por el grupo evaluador carecen de consistencia.

Para el caso de estudio de este trabajo, y teniendo en cuenta que solo se utilizaron 3 criterios de evaluación (costo fijo inicial, capacidad y acceso a proveedores) y 3 alternativas (moto, camioneta, camión liviano) en dos escenarios diferentes (primero: difícil acceso a proveedores, segundo: sin dificultad de acceso a proveedores), la mejor opción para mejorar la gestión de abastecimiento de leche para ambos escenarios es la compra de 10 motocicletas con sus debidos montajes, con un nivel de priorización del 67% para el primer escenario y solo 39% para el segundo. Cabe anotar, para el segundo escenario, que la elección entre el parque de motocicletas con relación a la compra de un camión liviano no es fuerte y obedece a que la inversión inicial en el parque de motocicletas es mucho menor que la realizada en la compra del camión liviano. También se puede observar que en el segundo escenario, el nivel de priorización de la opción del camión liviano está por encima que la de la camioneta, caso contrario se presentó en el primer escenario en donde el orden de priorización fue motocicletas, camioneta y por ultimo camión liviano.

Referencias

- [1] Contexto Ganadero, “Contexto Ganadero,” 2013. [Online]. Available: <http://www.contextoganadero.com/ganaderia-sostenible/colombia-la-vanguardia-en-produccion-de-quesos-informe>. [Accessed: 01-Dec-2015].
- [2] Portafolio, “No Title,” Portafolio, 2013.
- [3] “Super Intendencia de Industria Y Comercio,” 2013. [Online]. Available: http://www.sic.gov.co/drupal/recursos_user/documentos/promocion_competencia/Estudios_Economicos/Estudios_Economicos/Estudio_Sectorial_Leche1.pdf. [Accessed: 02-Dec-2015].
- [4] SENA, “SENA,” 2015. .
- [5] UNAD, “Universidad Nacional Abierta y A Distancia,” 2013. .
- [6] S. Chopra and P. Meindl, Administración de la cadena de suministro. Pearson educación, 2013.
- [7] S. Chopra and P. Meindl, Administración de la cadena de suministro. Estrategia, planeación y operación. Pearson Educación, 2008.
- [8] E. M. Rodríguez, “Aplicación del proceso jerárquico de análisis en la selección de la localización de una PYME,” Anu. jurídico y económico Ecur., no. 40, pp. 523–542, 2007.
- [9] R. Avila, “EL AHP (PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO) Y SU APLICACIÓN PARA DETERMINAR LOS USOS DE LAS TIERRAS. EL CASO DE BRASIL,” Santiago: FAO, 2000. [Online]. Available: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd67/doctec02.pdf>.

Aprovechamiento del bagazo de yuca en la elaboración de papel tipo Kraft

Use of the bagazo de yuca in the elaboration of type Kraft paper

Yassir Antonio Carlo Morelo¹
Manuel Fernando Osorio Anaya²
Mario Frank Pérez Pérez³

Resumen

La industria de producción de almidón, que utiliza como materia prima la Yuca *Manihot esculenta*; que se produce en la región del Caribe colombiano, tanto a nivel industrial como artesanal; se ha encontrado inmersa en una problemática de índole ambiental e inclusive hasta social, impactando a comunidades aledañas a los sitios de transformación de la Yuca en almidón. Producto de esta problemática surge el interés de encontrar alternativas que permitan aprovechar estos desechos como materia prima para ser transformadas en un producto con valor agregado; de tal manera se ha planteado el diseño de una alternativa productiva en donde se utilice al bagazo de yuca como materia prima en la elaboración de papel tipo Kraft, con el fin de generar un valor agregado a este desecho y mitigar con ello el impacto ambiental. Esta alternativa de producción surge del proceso de investigación realizado a los procesos alternativos de obtención de papel utilizando al bagazo de caña como fuente de materia prima para elaboración de dicho papel, y se orientó el proceso a la elaboración de una manera artesanal de un tipo de papel de buena resistencia para ser usado como material de empaque de productos agroindustriales.

1 Ingeniero Industriales, Corporación Universitaria del Caribe, Sincelejo, Colombia.

2 Ingeniero Industriales, Corporación Universitaria del Caribe, Sincelejo, Colombia.

3 Docente Facultad de Ciencias Básicas, Ingeniería y Arquitectura, Corporación Universitaria del Caribe, Sincelejo, Colombia.

Palabras clave: Almidón, Agroindustria, Transformación, Elaboración de papel.

Abstract

The industry of starch production, which uses the cassava *Manihot esculenta* as raw material; Which is produced in the Colombian Caribbean region, both industrial and artisanal; Has been found immersed in a problem of environmental and even social nature, impacting communities around the sites of transformation of cassava into starch. The product of this problem arises the interest of finding alternatives that allow to take advantage of these wastes like raw material to be transformed into a product with added value; The design of a productive alternative where cassava bagasse has been used as a raw material in Kraft paper production has been proposed, in order to generate added value to this waste and thereby mitigate the environmental impact. This alternative of production arises from the research process carried out on the alternative papermaking processes using the cane bagasse as a source of raw material for the production of said paper, and the process was oriented to the elaboration of a handmade form of a type of Paper of good resistance to be used as packing material of agroindustrial products.

Keywords: Starch, Agribusiness, Processing, Paper production.

Introducción

La Yuca, *Manihot esculenta* es considerada dentro del escalafón de los productos básicos, como el cuarto producto en orden de importancia en la alimentación mundial, solo superado por el arroz trigo y maíz [5]; y según la encuesta nacional agropecuaria del departamento administrativo nacional de estadísticas, en el reporte de los cultivos transitorios en 22 departamentos de Colombia 2014-2015, la yuca ocupa el cuarto lugar en área sembrada en el país [2], este tubérculo se constituye como uno de los alimentos vegetales, que tiene un alto nivel de consumo, gracias a su potencial energético, el cual es aprovechado tanto por los humanos como por los animales.

Debido a la pluridiversidad de variedades que tiene la yuca a nivel mundial, las cuales tienen como uno de los principales productos el almidón, el cual cuenta amplias propiedades fisicoquímicas variables, las cuales son producto de las diferencias en su relación amilosa y amilopectina, en conjunto con sus variaciones en su estructura molecular. Dentro del proceso de obtención del almidón, el cual es realizado en diversas empresas, tanto a gran nivel utilizando tecnología de punta, como en pymes tipo rallanderías, las cuales como productos de este proceso tienen como uno de sus desechos el bagazo de yuca, resultado del proceso de obtener almidón.

En la región del caribe norte colombiano, el bagazo producto de la obtención del almidón de yuca se ha constituido en una problemática, para la industria del almidón tanto en grandes empresas como en pymes artesanales que se dedican también a la obtención de almidón, puesto que el bagazo que se produce, contiene un alto porcentaje de agua, que en el instante de ser manejado, por medio de procesos como secado y su manejo en vehículos adaptados para transportar material acuoso sea muy costoso, producto de esto muchas de estas empresas ha optado por enterrar este desecho, bajo tierra, o en algunos casos generar vertimientos a las fuentes hídricas, en el mejor de los casos este subproducto es destinado a los ganaderos de la región los cuales lo destinan a la alimentación de bovinos [1]. El manejo de una forma inadecuada de este material considerado de desecho, se puede convertir en un problema de índole social y ambiental, desperdiando las potencialidades de este para ser usado en otros usos.

El residuo en forma pastosa medio sólido como lo es el bagazo producto resultante de la obtención de almidón, posee ciertas características en su composición la cual la conforman en su gran mayoría por materiales fibrosos y almidón no extraído, la cantidad extraída de bagazo producto del proceso de obtención del almidón, se mantiene en unas proporciones de aproximadamente 85% de humedad por cada tonelada del tubérculo [4]; esto está condicionado al origen de cada tipo de yuca, así mismo como al proceso de elaboración del almidón, pero la composición en promedio es del bagazo es de 40 – 60% en almidón no procesado y fibra y de 15-60% en proteínas y lípidos en pequeñas cantidades [6].

Uno de los usos potenciales que tiene este tipo de desecho es la elaboración de papel debido esto que al ser un producto que contiene fibra vegetal, que es uno de los componentes principales de este material.

Materiales y métodos

En el proceso de elaboración del papel tipo gema, se utilizaron los materiales correspondientes en el proceso de elaboración de papel [7] a partir del bagazo de caña [3], esta técnica se tomó como referente en el proceso de elaboración de papel a partir del Bagazo de yuca, el cual fue suministrado por la empresa ALMIDONES DE SUCRE, el cual según el reporte del análisis del análisis realizado en el centro de laboratorios de la Universidad de Sucre, arroja como resultado la siguiente composición 1,19 % en proteínas; 3,6 % en grasas; 0,77 % en cenizas; 11,31 % en humedad.

En el proceso de elaboración del papel a partir del bagazo de yuca, se procedió a preparar tres muestras de 200, 400 y 700 gramos respectivamente, este bagazo contiene una cantidad de agua significativa, y la mezcla se encuentra bastante triturada; como consecuencia del proceso de extracción del almidón, lo cual facilita la separación de las fibras. A esta mezcla de bagazo de yuca se le agregaron 40 centímetros cúbicos de pegante que es usado como agente aglomerante, el cual cumple la función de unir aún más las partículas de la mezcla, con el fin de proceder a realizar un proceso de homogenización de la mezcla se adicional 50 centímetros cúbicos de agua, lo cual facilita significativamente el proceso de homogenización por medio de una licuadora la cual facilita la obtención de la mezcla de una forma homogénea, la cual se obtiene después de aproximadamente un minuto de licuad. Seguido a esta operación la mezcla es vertida en un

molde previamente preparado, el cual cuenta con una tela que cumple la función de tamiz, seguidamente se procede a realizar la limpieza de la mezcla retirando los sobrantes.

Se procedió a darle forma según los requerimientos deseados, en este caso se le dio la forma rectangular, posteriormente a esto se somete a un proceso de secado, este puede realizarse de manera natural aprovechando la irradiación solar, o por medio de un equipo térmico, como por el ejemplo un horno; para el proceso de secado natural el tiempo promedio de duración de este es de 24 a 26 horas, en contraste de un medio implementando un equipo térmico el tiempo de duración es de 4 a 9 horas, según se muestra en la Figura 1.

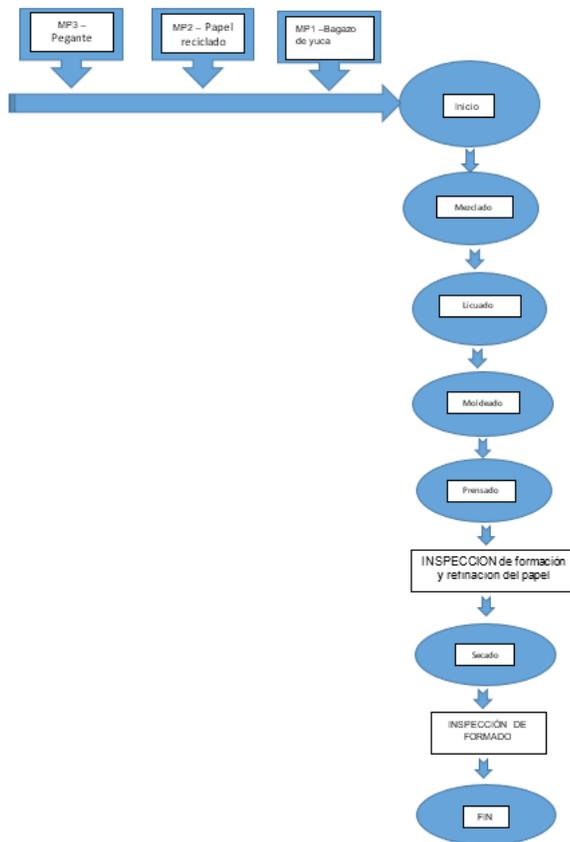


Figura 1. Ilustración del proceso de elaboración de papel.

Fuente: Los autores.

Dentro del proceso de validación de elaboración de papel a partir del bagazo de yuca se procedió a realizar otro procedimiento variando algunas proporciones, en este caso denominado experimento 2, se procedió a adicionar papel reciclado, a las siguientes cantidades de 200, 400 y 700 gramos de bagazo de yuca, junto a 40 centímetros cúbicos de pegante, seguido a eso se adiciono a la mezcla papel reciclado en las siguientes proporciones 10, 20 y 35%, más 50 centímetros cúbicos de agua. Se procedió a preparar 200 gramos en un recipiente, aprovechando el hecho de que el bagazo contiene agua, producto del proceso de extracción de almidón, en donde se somete a un proceso de triturado que favorece a la separación de las fibras.

A la mezcla se adicionaron 40 centímetros cúbicos de aglomerante (pegante de secado rápido), seguido a esto como el proceso anterior se adicionaron 50 centímetros cúbicos de agua el cual favorece a la homogenización de la mezcla, a la cual se le adiciona a continuación el 10% del total de la mezcla en papel reciclado, este no se aumenta en mayores proporciones con el fin de mantener las condiciones del producto con la materia prima a estudiar, esta mezcla utilizando una licuadora se procede a homogenizar por espacio de un (1) minuto; esta mezcla es vertida en un molde previamente preparado con tela tipo organza que facilita el filtrado, seguido de esta operación, se procede a refinar y a retirar los sobrantes, se procedió a realizar una operación de secado, el cual se puede realizar de manera natural el cual tiene una duración e promedio de 24 a 26 horas, en contraste con el secado mediante un equipo térmico que tiene una duración aproximada entre 4 y 9 horas.

Se realizó un tercer ensayo el cual cumple las mismas condiciones que los dos mencionados anteriormente, cambiando en este proceso la adición del 50% del total en papel reciclado, no se aumenta más a esta proporción puesto que se quiere mantener las condiciones de bagazo de yuca en la mayor proporción posible de tal manera que no se desvíe el objetivo del estudio realizado.

Resultados y Discusión

Durante el primer experimento se obtuvieron como resultados un papel agrietado, el cual poseía mínimas propiedades mecánicas, esto producto de la cantidad de agua agregada a una mezcla que ya de por si se encontraba en condiciones de humedad elevadas, con deficientes propiedades mecánicas, las cuales no permitieron que se formara una parta homogénea que se pudiera secar, durante esta fase de experimentación se procedió a variar las proporciones de agua y de pegante, y de ninguna de las dos formas se logró mejorar las condiciones de la mezcla para ser homogenizada y moldeada. No cumpliendo con esto las condiciones mínimas para ser usado como papel.

En el proceso experimental número dos, se obtuvo un papel que cumple con los requerimientos de las propiedades mecánicas mínimas que tienen los papeles comerciales tomados como referencia en este caso el papel tipo cartón Kraft y el papel tipo cartón paja; en esta experimentación se procedió a agregar una proporción del 10% del total de la mezcla, en papel reciclado más pegante de madera, obteniendo con este procedimiento excelentes resultados.

En el tercer experimento se adicionaron las mismas proporciones de pegante de madera, agua y bagazo de yuca, con un ingrediente adicional, que fue el papel reciclado en proporciones de 35 y 50% del total de la mezcla. En esta experimentación se obtuvieron resultados muy buenos que superaron a los de las otras experimentaciones, pero se tiene como anotación que en esta proporción el porcentaje presentado de papel reciclado es elevado y por lo tanto no se consideró esta experimentación como la ideal, puesto que los resultados se alejan del objetivo propuesto en este estudio como los es de analizar las condiciones de papel elaborado pero con bagazo de yuca como ingrediente principal.

El papel obtenido en la tercera experimentación tuvo como resultados de evaluación mayor resistencia al doblamiento y a la ruptura longitudinal. Como resultado de la evaluación del papel obtenido en la segunda experimentación se obtuvieron los siguientes resultados al momento de evaluar la resistencia que maneja este tipo de papel a la fuerza de rompimiento longitudinal a la que es sometido el papel y evaluada como un dinamómetro balanceado que mide la fuerza ejercida en newton.

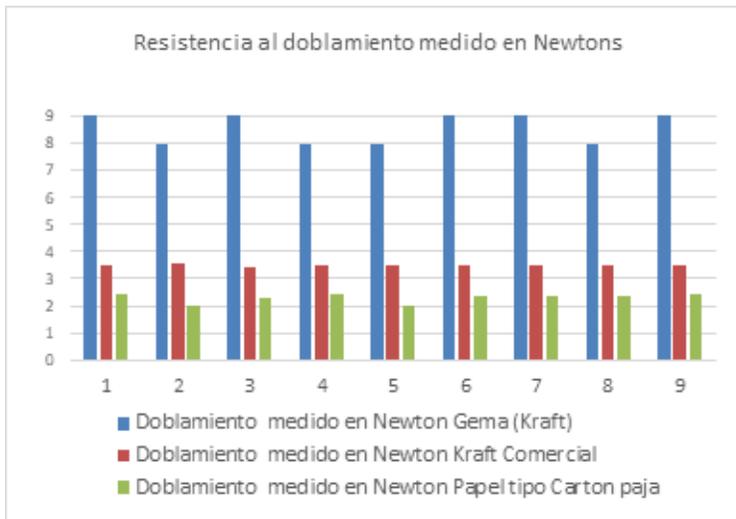


Figura 2. Resistencia a la fuerza de doblamiento del papel medido en Newton.

Fuente: Los autores.

Como se puede evidenciar en la Figura 2, el papel obtenido de la segunda experimentación presenta mayor resistencia al doblamiento, frente a los referentes de medición tomado los papeles comerciales tipo Kraft y el papel tipo cartón paja manejando en promedio para el papel experimental que hemos denominado papel Gema, se manejaron en promedio una fuerza de 8,6 newton, frente a niveles de resistencia la doblamiento de los papeles tipo Kraft comercial el cual presento una resistencia equivalente a 3,5 newton y el papel tipo cartón paja que tuvo como resultado una resistencia al doblamiento medida en newton equivalente a 2,3 Newton.

Al papel obtenido del segundo proceso experimental se le sometió a una evaluación al proceso de rompimiento longitudinal, evaluando con esto la resistencia que presentaba este tipo de papel a la fuerza ejercida de forma longitudinal hasta que este se rompe, según se puede apreciar en la Figura 3.

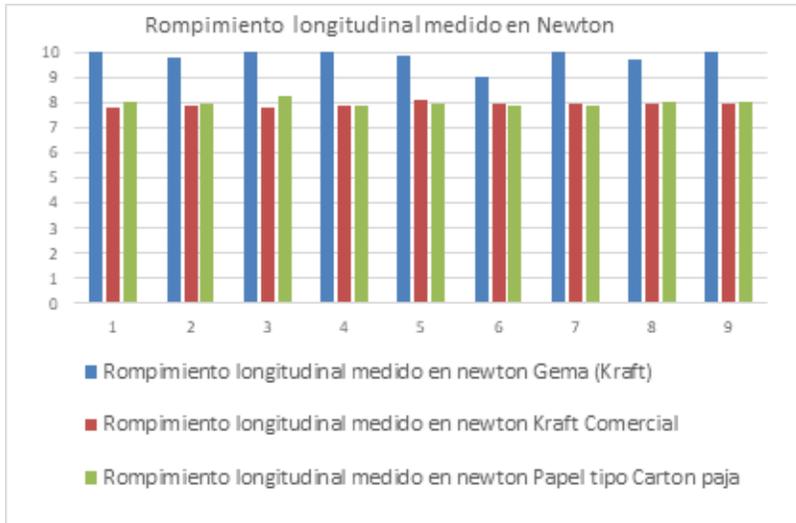


Figura 3. Resistencia a la fuerza de rompimiento medida en newton.
Fuente: Los autores.

En esta grafica es posible validar la resistencia que presenta el papel obtenido de la segunda experimentación frente a los papeles con los que se comparó que son el papel tipo Kraft comercial y el papel tipo cartón paja, en los cuales se tuvo en promedio una resistencia de 9,8 Newton para el papel tipo gema producto de la segunda experimentación; de 7,9 newton para el papel tipo Kraft comercial y de 8 Newton para el papel tipo cartón paja.

Conclusiones y recomendaciones

Como producto del trabajo de investigación de carácter experimental se tuvo como principal resultado la elaboración de papel tipo Kraft, utilizando los residuos del proceso de obtención de almidón de yuca, en este caso el bagazo de yuca, con el fin de llegar a obtener estos resultados, se consideraron diversas metodologías de moldeado y prensado para la producción de papel a partir de un material como lo es el bagazo de yuca, como un material sustituto de la madera; con el fin de tener un parámetro de referencia de la materia prima a utilizar se realizó un análisis fisicoquímico, a través de técnicas analíticas que permitieron identificar las propiedades iniciales con que cuenta la materia prima antes de realizar el proceso de

elaboración de papel, encontrando que estas propiedades se presentan de manera favorable aportando características que complementadas con características de materiales de apoyo como lo son el pegante de madera y el papel reciclado, que redundan en la obtención de un papel tipo Kraft el cual hemos denominado Gema con el fin de diferenciarlo del papel tipo Kraft que se maneja comercialmente.

Se logró identificar los componentes del proceso productivo, mediante el cual es posible obtener un papel tipo Kraft (Gema) con buenas características, frente al papel Kraft comercial y al papel tipo cartón paja; a pesar de que el proceso experimental desarrollado se llevó a cabo por medio de un proceso artesanal utilizando materiales domésticos como licuadoras, moles elaborados artesanalmente en donde se usaron maderas silvestres que sirvieron como marco para telas que cumplieron un papel de tamiz como lo es la Organza.

Como producto de este proceso experimental se logra tener como principal conclusión que la proporción que brindo las mejores características en comparación con los dos tipos de papeles que se tomaron como referentes fue aquel producto de la mezcla con la proporción de 400 gramos de bagazo, 10% de papel reciclado y 40 cm³ de pegante madera con 50 cm³ de agua, se obtuvo papel Kraft Gema con buenas propiedades mecánicas.

Referencias

- [1] Cereda, M., 1994. Resduos da industrializacao da Mandioca no Brasil. *Acta horticulturae*, pp. 225-231.
- [2] DANE, 2015. *Boletin tecnico, Encuesta nacional agropecuaria*, Bogota : DANE.
- [3] Garcia, G., 1999. Proponen nueva forma de hacer papel con caña. *Mural*, p. 344.
- [4] Matsui, K., 2004. Cassava bagasse-Kraft paper composites: analysis of influence. *Carbohydrate Polymers*, pp. 237- 238.
- [5] Mercedes Alzate, A., 2010. Variabilidad genetica de la Yuca cultivada por pequeños agricultores de la region caribe Colombiana. *Acta Agonomica*, pp. 385-393.

- [6] Pandey, A. & C, S., 2000. Biotechnological potential of agroindustrial residue II: Cassava bagasse. *Bioresource technology*, pp. 81-87.
- [7] Polanco, C., 2013. Papel hecho con residuos de caña revoluciona la agroindustria en Colombia. *EFE News* , 05 11, p. 07.

Diseño conceptual de distribución en planta para el proceso de extracción de capsaicina

Conceptual plant layout design for the capsaicin extraction process

Melissa Gutiérrez de Piñeres Meza¹
Ornella Lucía Narváez Garrido²
José Luis Ruiz-Meza³
Angélica María Torregroza Espinoza⁴

Resumen

La obtención de la capsaicina a partir del ají dulce, representa una oportunidad comercial y de emprendimiento basada en desarrollo tecnológico, debido a su uso recurrente en diferentes sectores como los son el alimentario, el farmacológico y el militar. Esto, gracias a que este componente considerado una oleoresina presenta un nivel de pungencia (sensación de picor o ardor) la cual es implementada con relativo éxito en tratamientos médicos y representa la clave de la gastronomía mexicana, entre otras culturas. Ahora bien, en el departamento de Sucre se presenta el cultivo de esta baya en diversos municipios, sin embargo, no existe una industria sólida que genere un aporte a la competitividad y productividad del sector agropecuario por la inexistencia de herramientas que permitan tomar decisiones claras alrededor de esta problemática. Por lo cual con esta investigación se realizó un diseño conceptual de distribución en planta basada en la simulación de eventos discretos, para la extracción de la capsaicina apoyada en el software de simulación Flexsim, la cual genera bases sólidas para la toma de decisiones en cuanto al aparato productivo

1 Estudiante de Ingeniería Industrial, Corporación Universitaria del Caribe – CECAR, Colombia.

2 Estudiante de Ingeniería Industrial, Corporación Universitaria del Caribe – CECAR, Colombia.

3 Docente, Corporación Universitaria del Caribe – CECAR, Colombia.

4 Docente, Corporación Universitaria del Caribe – CECAR, Colombia.

que se requiere para poder impulsar el desarrollo económico de esta cadena de suministros.

Palabras clave: capsaicina, competitividad, distribución en planta, simulación.

Abstract

Obtaining capsaicin from sweet chili represents a commercial and entrepreneurial opportunity based on technological development, due to its recurrent use in different sectors such as food, pharmacology and the military. This, thanks to the fact that this component considered an oleoresin presents a level of pungency (sensation of itching or burning) which is implemented with relative success in medical treatments and represents the key to Mexican gastronomy, among other cultures. However, there is no solid industry that generates a contribution to the competitiveness and productivity of the agricultural sector due to the lack of tools that allow clear decisions to be made around this problem. For which with this investigation a conceptual design of distribution in plant was realized based on the simulation of discrete events, for the extraction of the capsaicina supported in the software of simulation Flexsim, which generates solid bases for the taking of decisions as for the productive apparatus that is required to be able to impel the economic development of this chain of supplies.

Keywords: capsaicin, competitiveness, plant distribution, simulation.

Introducción

Todas la bayas de ají, pimientos, chiles, entre otras, hacen parte del género *Capsicum*, cuyos cultivos hortícolas se encuentran difundidos en el mundo entero por su empleabilidad en diferentes áreas tanto culinarias, como medicinales y militares, [1]. Sin embargo, en Colombia, este cultivo no muestra un gran aporte al sector agropecuario debido al atraso tecnológico, además de la falta de un apoyo empresarial que genere interés en el desarrollo de estos productos y que logre impulsar su competitividad y productividad, a pesar del llamativo precio que presenta la capsaicina (componente activo de los *Capsicum*), [2].

En este sentido, la comercialización de productos derivados de estas bayas, se presentan en pastas, encurtidos, polvos, salsas y saborizantes, cuyo componente activo es la capsaicina, [3]. Sin embargo, su producción, venta local y exportación se ve mínima en comparación a otros productos agropecuarios que se obtienen en el país; según [2] el volumen de exportación del ají marca una senda creciente que proyecta un total de 6.805 millones en ventas para 2029.

Ahora bien, la capsaicina (N-(4-hidroxi-3-metoxibencil)-8-metil-6-nonenamida), es considerada una oleorresina, la cual es inodora, sin colorantes y con una apariencia como la cera, siendo el componente químico de los *Capsicum*, cuyo nivel de pungencia que es la sensación que produce parecido al ardor o picor, es determinado por el método clásico conocido como test organoléptico Scoville, [4].

En la región Caribe y más concretamente en el departamento de Sucre este producto se obtiene de manera tradicional, [5], cuya producción a pesar de presentarse en casi todo el departamento, se centra en los municipios de La Unión, Ovejas, Sincelejo y San Antonio de Palmito, el cual asciende a 268,2 toneladas obtenidas en 77 hectáreas cosechadas de 97 sembradas en 2017, [6]. Esta producción se ve menor con respecto a otros departamentos como Córdoba, Magdalena, La Guajira y Valle del Cauca, quienes representan el 87,9% de la producción del país, con un rendimiento promedio de 16 toneladas por hectárea, [7].

La baja producción en el departamento de Sucre, es el reflejo de la deficiencia del desarrollo tecnológico y la organización de la cadena

productiva del ají en la zona, evidenciando puntos críticos que van desde la producción primaria por la baja productividad por hectárea, como la falta de centros de acopio con las condiciones adecuadas, entre otros problemas logísticos que sin duda alguna generan aumentos de costos y por ende disminución de utilidades, [8].

Ahora bien, otro punto crítico que se evidencia en el departamento de Sucre con respecto a la producción de ají y obtención de productos derivados tales como pastas, o la extracción propia de la capsaicina, es la baja existencia de plantas de proceso que permitan generar productos agregados bajo condiciones de inocuidad y estandarización. Por lo cual, es de gran pertinencia generar alternativas para la toma de decisiones en cuanto al diseño y construcción de este tipo de plantas para el aprovechamiento y tecnificación de los cultivos.

En este sentido, la simulación se presenta como una herramienta que permite construir diferentes escenarios, a partir de una realidad abstracta para posteriormente hacer una selección de la mejor o mejores alternativas ayudando a determinar con antelación a una futura construcción, cambios y/o redistribución, la eficiencia y en algunos casos la supervivencia de la empresa, [9].

Debido a la inexistencia de este tipo de investigaciones en el ámbito industrial del sector horticultor del departamento de Sucre, sumado a la casi nula implementación de software que permitan estructurar una distribución en planta eficiente, se hace necesario la implementación de herramientas de simulación que permitan construir un diseño conceptual eficiente, para el proceso de la extracción de la capsaicina en el departamento de Sucre.

Por tal razón se realizó el diseño conceptual de una planta para la extracción de capsaicina a partir del ají tabasco cultivado en el municipio de los palmitos en el departamento de Sucre, mediante la aplicación del software Flexsim, como herramienta de simulación y validación de escenarios.

Producción de Ají en Colombia

La producción de ají en Colombia hace parte de la cadena hortalizas, la cual ha presentado un aumento paulatino de las áreas sembradas en el país, [2]. Figura 1. En donde el cultivo de ají presentó un total de 1168 toneladas exportadas en 2018, [10].



Figura 1. Área Hortofrutícola sembrada 2013 – 2017.

Fuente: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Secretarías de Agricultura Departamentales. Alcaldías Municipales, 2018.

Sin embargo, la producción de ají en Colombia se considera de dispersión y mayormente en huertos, en los cuales se siembran variedades como el ají tabasco, el habanero, la cayenne y el pimentón de color verde, rojo y amarillo, [11].

Los usos de esta baya tienen una gran variabilidad que van desde su uso en la cocina como condimento en carnes, en encurtidos, en vinagres, salsas y aceites, con diferentes preparaciones para que este desprenda su sabor y condición de pungencia. Adicional del uso farmacológico por sus beneficios medicinales, [12].

Ahora bien, este producto se encuentra priorizado dentro de los planes de negocios del programa de transformación productiva y Asohfrucol-FNFH, cual en cual a 2030 se prevé una producción total de 38.000 toneladas en un total de 4.000 hectáreas sembradas en el país, [2].

Materiales y métodos

El componente activo que se encuentra en los ajíes, se denomina capsaicina, encargado de generar el grado de pungencia por ser un compuesto orgánico nitrogenado de naturaleza lipídica, [13]. El grado de pungencia depende de cada tipo de ají según la concentración de capsaicina que presente. Tabla 1.

Tabla 1
Grado de pungencia en diferentes tipos de ajíes

Variedad	Nombre botánico	Pungencia (unidades de scoville1)
Panca	Capsicum chinense	1500
Amarillo	Capsicum baccatum	50.000
Pajarito	Capsicum baccatum	50.000
Rocoto	Capsicum pubescens	70.000
Cereza	Capsicum annuum	80.000
Chirel	Capsicum annuum	100.000
Habanero	Capsicum chinense	200.000
Tabasco	Capsicum frutescens	300.000

Fuente: [14]

Correspondiente a esto, para esta investigación se seleccionó la variedad de ají tabasco *Capsicum frutescens* cuya área de siembra a 2016 ascendía a los 8373 hectáreas, [15]. Figura 2.



Figura 2. Arbusto de ají tabasco. Fuente: Los autores

Se tomó como muestra aleatoria a una parte de los productores de ají tabasco en el corregimiento de El Piñal en el municipio de los Palmitos. Con lo cual se desarrolló una metodología de tres fases que consistieron en: análisis del mercado de la capsaicina, metodología del proceso productivo y por último, la metodología SLP (Systematic Layout Planning) de Muther (1968), adaptada al método de extracción Soxhlet.

El análisis de mercado es una herramienta que permite identificar además de la demanda requerida de un producto, aspectos fundamentales como lo son los clientes, precios, variaciones económicas del mercado, entre otros factores, generando así un conocimiento adecuado que permite evidenciar y evaluar el posible éxito de un bien o servicio, [16]. En Colombia el mercado de la capsaicina no está estandarizado debido que este es un producto que empieza a escalar y que toma importancia por su aplicabilidad. Sin embargo, se presentan barreras por el tipo de producción que se da en el país.

Por otra parte, la metodología SLP aplicada a la distribución en planta presenta un conjunto de elementos (productos, cantidad o volumen, recorrido o proceso, servicios y tiempos) que permiten establecer la distribución, de manera que se fijan los cuadros de operaciones, procedimientos, normas, recorridos, y diagramas de relaciones de cercanía, para poder evidenciar el proceso de manera holística, convirtiéndose en la primera de tres etapas (análisis) de esta metodología. En total las etapas son: análisis, búsqueda y solución; en la etapa de búsqueda, se establecen los diagramas de relaciones estacionales y por último, se generan las posibles soluciones con miran a optimizar la planta o hacerla más eficiente, [17].

Resultados

Análisis de mercado

Para esta investigación, nosotros trabajamos con una muestra no probabilística debido a la dificultad del acceso a la información, focalizando solo a cinco productores de ají de la zona y 14 empresas de la región, a los cuales se les aplicó un instrumento de recolección de información con el cual se obtuvieron resultados eficientes, identificando aspectos de

producción, precios, insumos, clientes, entre otros. Se identificó que estos actores presentan una producción mayormente de tipo tradicional que alcanza un volumen que oscila entre los 5 y más de 50 kg. Figura 2.



Figura 3. Método de siembra y cantidad obtenida en la producción de ají. Fuente: Los autores.

Adicional a ello, se identificaron dos modalidades de comercialización del producto: ají al menudeo o en bolsas, y salsa picante. Estos, son adquiridos por clientes locales y transitorios; el precio de venta aproximado de los productos se muestra en la siguiente tabla. Tabla 2.

Tabla 2
Precios de productos vendidos de ají tabasco

Producto	Descripción	Precio
Bolsa de ají	Bolsa de 500 gramos.	\$5.000
Salsa Picante	Salsa artesanal o sueros también de tipo artesanal.	\$7.000
Kilo de ají	Bultos o por kilos.	Entre \$2.500 y \$5.000

Fuente: Los Autores

En cuanto a las empresas focalizadas, por la confidencialidad de la información, solo logramos identificar el dato de requerimiento total acumulado de materia prima (capsaicina) el cual es de 112 Lt mensual, y 1334 Lt anual de capsaicina.

En cuanto a los precios de la capsaicina, y el ají picante en centrales de mercados se evidencia en la siguiente tabla. Tabla 3.

Tabla 3
Precios de productos en el mercado

Producto	Locación	Precio
Kilo de ají tabasco	Mercado de Barranquillita (Barranquilla)	\$3.875
	Central Mayorista de Antioquía (Medellín)	\$3.500
	Mercado de Bazurto (Cartagena)	\$3.000
	Mercado del Sur (Montería)	\$4.000
	Mercado Nuevo (Sincelejo)	\$3.000
Capsaicina gr		\$2500 - \$3500

Fuente: Los Autores con base en datos del Sistema de Información de Precios y Abastecimiento del Sector Agropecuario (SIPSA).

Proceso productivo

Para la obtención de la capsaicina se emplean inicialmente tres procesos: lavado con agua destilada, secado a 60°C durante 24 horas y por último el triturado del ají tabasco. Se empleó el equipo del método soxhlet (balón de fondo plano, el brazo soxhlet y un condensador), iniciando con la agregación de 120ml de hexano a 4,0058 gr de materia prima, posteriormente calentada durante 3 horas hasta obtener la oleoresina, [18]. El diagrama de flujo de procesos se muestra a continuación. Figura 4.

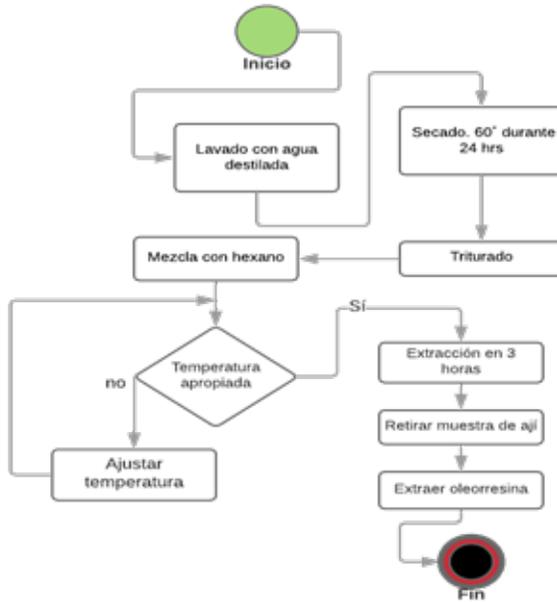


Figura 4. Diagrama de flujo de proceso para obtención de capsaicina.

Fuente: Los autores.

En este sentido para la producción en planta de esta oleoresina se deben emplear equipos industriales de alta capacidad que se muestran en la tabla 4, además de otros equipos de apoyo como lo son: el agitador magnético FISATOM, Mod. 753^a, ampolla de decantación, balón de destilación, estufa de laboratorio MEMMERT, mufla de Laboratorio TECNO DALVO Mod. TDHM/1, pipetas, probetas, tubos de ensayos, fiolas, elementos de protección persona, entre otros.

Tabla 4
Precios de productos en el mercado

Equipo	Capacidad de producción
Lavadora de vegetales	600 a 800 kg/hora
Secadora	60/120/340/360/480 kg
Mezclador	Mín.: 0.1 m ³ (3.53 ft ³) y Máx.: 10 m ³ (353.15 ft ³)
Trituradora automática de vegetales	500 / 800 kg/hora
Rack	Resistencia de 350kg a 450kg
Extractor soxhlet	3L-500L

Fuente: Los Autores con base en análisis de costos en la web.

Ahora bien, en cuanto a los espacios de la planta se requiere una totalidad aproximada de 31 m². Calculados de la siguiente forma: extractor soxhlet 5,98 m², horno 4,7 m², plancha de calentamiento 3,7 m², mezclador 4,723 m², zona de almacenamiento 11,73 m². Considerando los espacios necesarios para el flujo de personal y productos.

Para una capacidad instalada de planta de 80 Lt de capsaicina mensual, se requieren 3.565 kg de ají tabasco aproximadamente, dada la relación de obtención de 0,0971 gr de capsaicina por cada 4,0058 gr de ají. Esto conlleva a una tasa diaria de producción de 3,31 Lt de capsaicina, generando una tasa de productividad de 0,3875 litros/hora; los cálculos están basados en un mes laboral de 26 días y 8 horas laborales diarios, [19].

Distribución en planta aplicando SPL

Para esta investigación se construyó un diagrama de relaciones y activadas en donde se establece que las actividades que necesitan absoluta cercanía son: secado y lavado, triturado y extracción y finalmente envasado. Figura 5.

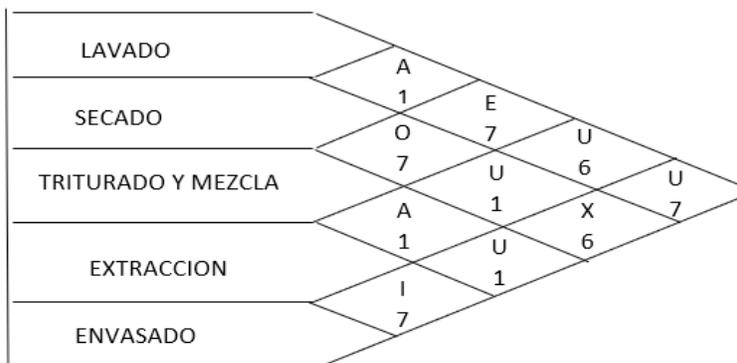


Figura 5. Diagrama de relaciones y actividades aplicados a la planta de obtención de capsaicina.

Fuente: los autores.

A continuación se realizó la simulación apoyada en el software Flexsim (Figura 6), considerando una producción mensual de 112 Lt de capsaicina, para la cual se requieren en total 4.992 kg de Ají Tabasco aproximadamente. Se evaluaron diferentes escenarios para determinar

Diseño conceptual de distribución en planta para el proceso de extracción de capsaicina

variabilidades en la producción, haciendo cambios en las máquinas, sin embargo, la variabilidad obtenida en los escenarios fue muy mínima.

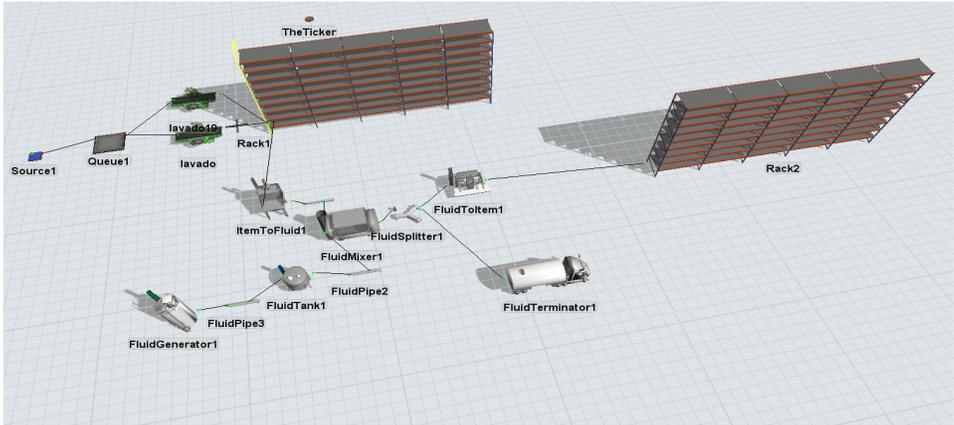


Figura 6. Representación en el software Flexsim.

Fuente: los autores.

Conclusiones y recomendaciones

El alto grado de pungencia que presenta el ají tabasco, lo convierte en el insumo principal para la obtención de la capsaicina en la región y en el país. Sin embargo en la zona focalizada para esta investigación y en el sector en general del departamento de Sucre, presenta un bajo grado de producción de esta hortaliza.

Ahora bien, los productores de ají tabasco del municipio de Los Palmitos, Sucre, no presentan un dato exacto sobre la producción; su producción es artesanal con una área que oscila entre 5 y 10 hectáreas, generando ventas del producto al menudeo o transformándolo en salsas.

El precio de venta de estos productos es bajo en comparación al beneficio económico que presenta la capsaicina como producto. Sin embargo, para su obtención se hace necesario un proceso industrializado dependiendo de las cantidades a producir, por lo cual se realizó un diseño conceptual de una planta de extracción de capsaicina para el departamento de manera que se genere un flujo constante de producción de esta oleoresina

La simulación se realizó en el software Flexsim, distribuyendo las máquinas y herramientas de manera eficiente para optimizar el flujo de

insumos y materiales en proceso entre cada una de las etapas, considerando el método Soxhlet y minimizando los transportes internos para satisfacer una demanda de 112 litros de capsaicina mensualmente.

Se simularon diversos escenarios para seleccionar el escenario de mayor eficiencia en cuanto a la productividad, sin embargo, no hubo una variación significativa en el proceso. Por lo cual, se mantuvo el proceso inicial; el diseño de esta planta representa un eje de articulación entre la academia, la investigación y la innovación, para el aumento de la productividad y competitividad del sector agropecuario e industrial del departamento.

Ahora bien, para mantener un flujo de producción constante, es necesario impulsar el cultivo del ají tabasco y generar una cadena productiva articulada desde los proveedores, hasta la comercialización final de la oleorresina.

Cabe resaltar que el diseño presentado en esta investigación es solo conceptual, por lo cual es necesario generar plantas piloto que permitan la verificación en campo de los datos obtenidos, evaluando así el rendimiento en la obtención de la capsaicina.

Referencias

- [1] R. Mendoza, «Sistemática e Historia del Ají *Capsicum Tourn.*», *Universalia* 11 (2), pp. 80-88, 2006.
- [2] Asohofrucol, «Plan Horticultura Nacional,» 2017. [En línea]. Available: https://www.asohofrucol.com/archivos/biblioteca/biblioteca_28_PHN.pdf.
- [3] V. Guedes, J. P. Castro y I. Brito, «Capsaicina Tópica para el Dolor en la Artrosis: Una Revisión de la Literatura,» Febrero 2018. [En línea]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1699258X16300894?via%3Dihub>.
- [4] O. Hoyos, J. Franco, C. Solarte y M. Orozco, «Extracción y cuantificación de la capsaicina a partir del fruto del ají (*Capsicum spp.*)», *Scientia et Technica Año XIII, No 33*, pp. 33 - 35, 2007.

- [5] M. Zambrano, «Implementación de 2.500 m² del cultivo de ají variedad tabasco (*Capsicum frutescens*) en la finca San MARTIN en el municipio Valle del Guamuez, Putumayo,» Universidad de la Salle, Secretaria de desarrollo económico, «Consenso Departamental EVA,» 2018.
- [6] M. Ruiz, «Implementación de un proyecto productivo de ají dulce como modelo de desarrollo agrícola para pequeños productores en el munición de córdoba, Bolívar.,» Universidad de la Salle, Yopal, 2017.
- [7] A. Torregroza, «Evaluación de la Capsaicina Presente en el Ají Tabasco (*Capsicum Frutescens*) Cultivado en el Departamento de Sucre, para su Aprovechamiento Industrial.,» Sucre , 2016.
- [8] H. Hernandez, «Diseño de una Planta para la Producción de Yabolín a partir de Almidón de Yuca (*Manihot esculenta*) en el Municipio de Betulia, Departamento de Sucre, Mediante la Implementación de la Metodología SPL.,» Sucre, 2018.
- [9] Minagricultura, «Cadena de Suministros de Hortalizas. Indicadores e instrumentos,» Ministererio de Agricultura, Bogotá, 2018.
- [10] C. Pardey, M. García y F. Vallejo, «Caracterización morfológica de cien introducciones de *Capsicum* del Banco de Germoplasma de la Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira,» pp. 1-9, 2006.
- [11] N. Lema, «El ají, variedades, técnicas y usos aplicados en la cocina moderna ecuatoriana,» 2018.
- [12] K. Vallecilla, M. Zuluaga y C. F. A. Rodríguez, «Semisíntesis de Ésteres y Amidas a partir de un Alcaloide Obtenido desde Ají (*Capsicum Annuum*).,» 2018. [En línea]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6597222>.
- [13] F. Mejía, «Aislamiento y Caracterización Fisicoquímica de la Capsaicina de Tres Variedades de Ají,» 2013. [En línea]. Available: <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/5728/T-PUCE-5882.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [14] Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE, «Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA),» 2016. [En línea]. Available: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/agropecuario/encuesta-nacional-agropecuaria-ena>.

- [15] S. Orjuela y P. Sandoval, «Guía del estudio de mercado para la evaluación de proyectos,» Universidad de Chile, Santiago, 2002.
- [16] H. Mejía, M. Wilches, M. Galofre y Y. Montenegro, «Application of Distribution Plants methodologies for setting up a Distribution Center,» *Scientia et Technica Año XVI, No 49*, pp. 63-68, 2011.
- [17] M. V. Cadavid, G. A. Paternina y E. P. Perez, «Determinación de Capsaicina Mediante Cromatografía Líquida de Alta Resolución (HPLC-PDA) en la Especie Capsicum Frutescens,» 2016. [En línea]. Available: http://revistas.unipamplona.edu.co/ojs_viceinves/index.php/BISTUA/article/viewFile/2553/1408.
- [18] A. J. P. González y O. E. M. Suarez, «Diseño del Esquema de Distribución en Planta de una Industria Productora de Leche en Polvo que Ayude a Suplir los Requerimientos de Demanda Identificados en Colombia,» Sincelejo, 2017.

Notas al pie de página

1 La escala Scoville es una medida del picor o pungencia en los pimientos o ajíes.

Estructura genética de dos sistemas de reproductores de Bocachico *Prochilodus magdalenae* utilizados para repoblamiento en el norte de Colombia

Genetic structure of two breeding systems of Bocachico *Prochilodus magdalenae* used for repopulation in northern Colombia

Daniel Castañeda Valbuena¹
Juan Carlos Narváez Barandica²
Ana Carolina Torregroza Espinosa³

Resumen

Debido a las modificaciones ambientales que ha sufrido el río Magdalena y a la sobrepesca, las poblaciones de bocachico (*Prochilodus magdalenae*) han mostrado una disminución considerable en su tamaño y en sus capturas. Para evitar la extinción de esta especie, las autoridades ambientales de Colombia están implementando diversas estrategias, dentro de las que se destacan los programas de repoblamiento. Para esto, emplean semilla de bocachico obtenida de manera artificial en las estaciones piscícolas. Sin embargo, el desarrollo de estos programas, viene realizándose de manera arbitraria y sin ningún soporte científico que los respalde. Estos repoblamientos estarían agilizando la extinción de esta especie, puesto que las larvas utilizadas podrían estar presentando problemas de variabilidad genética, principalmente por los malos manejos de los reproductores en los centros piscícolas. El objetivo de esta investigación consistió en analizar la diversidad genética de lotes de bocachico utilizados en programas de repoblamiento, mediante marcadores moleculares

1 Docente Universidad de la Costa. Facultad de Ciencias Ambientales, Colombia

2 Docente Universidad del Magdalena. Laboratorio de Biología Molecular, Colombia

3 Docente Universidad de la Costa. Facultad de Ciencias Ambientales, Colombia

microsatélites. Se utilizaron 60 reproductores provenientes de dos estaciones piscícolas ubicadas en los departamentos de Magdalena (SENA) y Atlántico (Repelón). Se utilizaron siete microsatélites polimórficos, que suministraban entre 10 y 35 alelos por locus. La diversidad genética encontrada para los lotes estudiados fue (SENA $H_o < 0.1$; Repelón $H_o < 0.13$), mientras que el grado de endogamia mostró valores altos ($F_{is} > 0.8$). Es probable que estos resultados encontrados sean producto de un manejo inadecuado de los reproductores. Se discute la necesidad de introducir el criterio genético para mejorar las condiciones genéticas de los reproductores de bocachico utilizados para el repoblamiento en Colombia, de tal forma que permita garantizar la conservación de la especie.

Palabras clave: Bocachico, microsatélites polimórficos, diversidad genética, grado de endogamia.

Abstract

Due to the environmental modifications that the Magdalena River has suffered and to overfishing, the populations of bocachico (*Prochilodus magdalenae*) have shown a considerable decrease in their size and in their catches. To prevent the extinction of this species, the environmental authorities of Colombia are implementing various strategies, among which the repopulation programs stand out. For this, they use bocachico seed obtained artificially in the fish stations. However, the development of these programs has been carried out arbitrarily and without any scientific support to support them. These repopulations would be speeding up the extinction of this species, since the larvae used could be presenting problems of genetic variability, mainly due to the mishandling of the reproducers in the fish farms. The objective of this research was to analyze the genetic diversity of lots of bocachico used in repopulation programs, using microsatellite molecular markers. 60 breeders from two fish stations located in the departments of Magdalena (SENA) and Atlántico (Repelón) were used. Seven polymorphic microsatellites were used, providing between 10 and 35 alleles per locus. The genetic diversity found for the batches studied was (SENA $H_o < 0.1$, Repelón $H_o < 0.13$), while the degree of inbreeding showed high values ($F_{is} > 0.8$). It is likely that these results are the product of improper handling of the broodstock. The need to introduce genetic criteria to improve the genetic conditions of bocachico breeders used for repopulation

in Colombia is discussed, in order to guarantee the conservation of the species.

Keywords: Bocachico, polymorphic microsatellites, genetic diversity, degree of inbreeding.

Introducción

La disponibilidad del recurso bocachico (*Prochilodus magdalenae*) ha disminuido en la cuencas hídricas de Colombia, debido a la pesca sin control, la contaminación masiva de las fuentes hídricas y la deforestación, a tal punto de ser considerada una especie vulnerable a la extinción [1]. Esto se demuestra con la reducción de las capturas realizadas entre el mes de enero de 2007 y el mismo mes de 2011, las cuales descendieron cerca de un 80% [2]. En Colombia, como en muchos países, las autoridades ambientales intentan mitigar el impacto producido por este tipo de perturbaciones. Para tal fin se han propuesto el uso de medidas tales como: las vedas, tallas reglamentarias de captura, mejora y prohibición de artes de pesca y los repoblamientos. Los repoblamientos son una de las estrategias más usadas para la rehabilitación pesquera [3], [4], aunque involucran riesgos relativos en la eficiencia del programa en cuanto a sus resultados en la preservación del pool genético [5]–[7]. Estas medidas tomadas por las autoridades ambientales para la conservación y recuperación de los mismos, deben llevar implícito un fuerte conocimiento acerca del componente genético tanto de los reproductores utilizados para los repoblamientos, como de las poblaciones naturales. Debido a esto, es de mucha importancia la correcta selección del grupo de reproductores de bocachico que serán usados para propósitos de conservación y repoblamiento. El riesgo de usar animales con poca variabilidad genética para la conformación de un lote de reproductores con fines de repoblamiento, puede introducir información genética que no necesita la población receptora y esto empeoraría la condición natural de la población [5], [8], [9], llevándola a que se aceleren los procesos de extinción.

A pesar de lo anterior, los programas de repoblamiento que se realizan en Colombia, son de manera arbitraria y sin fundamentos ecológicos y genéticos que respalden la producción de semilla, lo que genera una reducción en la variabilidad genética de los reproductores y de sus progenies

[5], [10]. Los principales motivos de la pérdida de la variabilidad genética de lotes de parentales en cautiverio se atribuyen a: la utilización de pocos animales, el cruzamiento entre reproductores emparentados genéticamente (endogamia) [8], [9], [11], [12]; y la selección casual de los peces para la reproducción [13].

Este tipo de selección puede generar una gran pérdida en la variabilidad genética, como fue demostrado en lotes de reproductores de *Oreochromis niloticus* usados en programas de repoblamiento en Brasil [14]. Lo anterior, es similar a lo obtenido por [5], quienes comprobaron que la selección realizada por los centros piscícolas, para las reproducciones de *Brycon cephalus*, fueron responsables de una disminución de la variabilidad genética de los lotes de reproductores. Por su parte, [15] para bocachico (*Prochilodus magdalenae*) determinó que las estaciones piscícolas que proveen semilla al programa de repoblamiento en el río Sinú (Colombia) presentan baja variabilidad genética, esto debido principalmente a que los centros piscícolas encargados de producir la semilla utilizada para repoblar las cuencas hídricas, realizan la selección de los animales por sus características físicas (tamaño, coloración, etc.), o por su estado de madurez gonadal. En este sentido, el objetivo de esta investigación consistió en evaluar la estructura genética de lotes de bocachico (*Prochilodus magdalenae*) en dos centros piscícolas, utilizados en los programas de repoblamiento del río Magdalena y algunos afluentes.

Materiales y Métodos

El estudio se realizó en dos centros piscícolas del norte de Colombia: Estación Piscícola de Repelón (Atlántico) y el Centro Acuícola y Agroindustrial de Gaira (Magdalena).

Se seleccionaron al azar 60 peces del actual sistema de reproductores de cada uno de los centros piscícolas, a los cuales se les tomaron muestras de aleta caudal que fueron fijadas en alcohol absoluto, para ser trasladadas al laboratorio de la Biología Molecular de la Universidad del Magdalena.

La extracción de ADN se realizó a partir de muestras de la aleta caudal, siguiendo el protocolo propuesto por [9], con algunas modificaciones, como se registra a continuación:

Se cortó un trozo (0.1-0.3 cm²) de la muestra de aleta fijada y se colocó en un tubo de 2 ml con 600 µl solución de lisis y 1 µl de proteinasa K, luego, se homogenizó la mezcla, para incubar a 65 °C durante 1 hora con agitación esporádica. Seguido, se agitaron las muestras en vortex durante 5 minutos, se agregaron 550 µl de NaCl [5M] a cada tubo y se agitaron sutilmente en el vortex durante 10 segundos. Después, se centrifugaron durante 15 min a 15000 rpm y a cada muestra se le agregaron 500 µl de alcohol isopropanol (a -20°C), se incubaron a la misma temperatura durante una hora. Posteriormente se centrifugaron durante 15 minutos a 14000 rpm. Se retiró el isopropanol con cuidado para no resuspender el pellet. Luego, se lavó el pellet con 600 µl de etanol [70%]. El etanol se retiró cuidadosamente, quedando en el tubo el pellet (ADN). Finalmente, cada muestra se dejó secar durante una hora, luego se agregaron 50 µl de Buffer TE y se conservaron a -20°C.

Se amplificaron 8 loci microsatélites específicos de *Prochilodus lineatus* propuestos por [16], cuya amplificación cruzada fue probada exitosamente en *Prochilodus magdalenae* previamente a este estudio. Se seleccionaron los más polimórficos: PL3, PL14, PL23, PL26, PL28, PL34, PL64 y PL119. Para amplificar los 8 loci microsatélites se siguieron los protocolos y condiciones de amplificación propuestos por [16]. Las reacciones de PCR (reacción en cadena de la polimerasa) se llevaron a cabo en un volumen final de 10 µl, quedando las concentraciones finales de la siguiente manera: el buffer de reacción en 1X; el MgCl₂ en 2 mM; los dNTPs en 0.2 mM; los primeros en 0.2 µM; y la taq polimerasa en 0.25 U. Para todos los *loci* se utilizó una temperatura inicial de desnaturalización a 95°C durante 5 minutos, se aplicaron 30 ciclos con las siguientes condiciones: una temperatura de desnaturalización de 95°C por 30 s; la de anillaje para cada *loci* se presenta en la tabla 1, la cual se prolongó por 30 s; la de extensión fue de 72°C por 30 s; y al final de los ciclos se aplicó una temperatura de extensión de 72°C por 10 minutos. Los amplicones fueron verificados en geles de agarosa al 2%.

Tabla 1

Diversidad genética por locus teniendo en cuenta el sistema de reproductores de bocachico P. magdalenae de las dos estaciones piscícolas.

Locus	Tm (°C)	N	Na	He	Ho
PL3	50	113	35	0.936	0.213
PL23	59	122	10	0.867	0.025
PL26	59	116	16	0.924	0.025
PL28	59	115	18	0.892	0.132
PL34	56	115	11	0.901	0.081
PL64	62	113	26	0.927	0.140
PL119	58	115	26	0.933	0.182
Promedio			20.3±9.1	0.911±1.708	0.114±0.073

Fuente: Los autores.

Nota: Tm es la temperatura anillaje; N representa el tamaño de la muestra; Na es el número de alelos; He es la heterocigosidad esperada y Ho es la heterocigosidad observada.

Los productos de PCR fueron corridos por electroforesis vertical en geles denaturantes de poliacrilamida al 7% (Acilamida/Bisacrilamida 19:1 BioAmerica®; urea 7M BioAmerica®; TBE 10x; Persulfato de amonio (APS) 8% USB®0029), los cuales fueron teñidos con bromuro de etidio durante media hora. La electroforesis vertical se corrió a 100 voltios durante 10 minutos y 80 voltios durante 6 horas; se utilizó un marcador de peso molecular (Hyperladder™ V, rango 25-500 pbBioline ®), con el fin de estimar el tamaño de cada uno de los alelos. La asignación de los tamaños de los alelos se llevó a cabo con el programa GeneTools de Hitachi GeneticSystem®.

La variabilidad genética de los lotes de reproductores de bocachico, se estimó utilizando las siguientes medidas: frecuencia alélica, el número de alelos por locus (Na), la heterocigosidad observada (Ho) y esperada (He). Para este fin se utilizó el paquete computacional GENETIX v.4.05. Para probar el equilibrio en las 2 poblaciones en cautiverio, se realizaron las siguientes pruebas: el test de probabilidad de [17], para lo cual se empleó el paquete estadístico de GENEPOP v.3.3; la desviación del E-HW producto del exceso o de la deficiencia de heterocigotos que se calculó con la prueba de puntaje U (U-score) propuesta por [18]. Los valores P calculados se compararon con un nivel de significancia de 0.001.

Para determinar la diferencia genética entre los dos sistemas de reproductores se realizó una prueba de comparación entre las muestras de los dos centros piscícolas utilizando el estadístico F_{st} de [19] con el programa Fstat v.2.9.3 [20]. Para analizar si las diferenciaciones fueron significativas, se utilizó la rutina de corrección de Bonferroni para comparaciones múltiples [20] incluida en el Fstat v.2.9.3. También se utilizaron las frecuencias alélicas por locus para hacer la comparación descriptiva entre las dos estaciones.

Resultados

Polimorfismo De Los Microsatélites

Se encontró un gran polimorfismo en todos los *loci* utilizados, siendo PL3 el más polimórfico con 35 alelos. La media de alelos para todos los *loci* fue de 20.3 ± 9.1 .

Los reproductores de las dos estaciones (SENA y Repelón) presentaron un número similar de alelos por locus (15.9 alelos/locus). Sin embargo, el número de alelos amplificados para algunos *loci* varió con respecto a la estación: PL3, PL23, PL64 y PL119, mientras que en los demás *loci* mostraron la misma cantidad de alelos: PL26, PL28 y PL34 (Tabla 1)

Con respecto a la variabilidad genética global, la heterocigosidad observada presentó valores que oscilaron entre 0.025 para PL23 y 0.213 para PL3, con un promedio de 0.114 ± 0.073 . En el caso de la heterocigosidad esperada, el rango de los valores obtenidos estuvo entre 0.867 para PL23 y 0.934 para PL3 (Tabla 2).

Diversidad Genética Por Estación Piscícola

Los reproductores que presentaron la mayor heterocigosidad observada (H_o), fueron los de la estación del SENA. Teniendo la mayor H_o el locus PL119 con 0.300. Por su parte, para el locus PL34 no se presentó ningún reproductor heterocigoto. Con relación a la heterocigosidad esperada (H_e), esta estación presentó un valor de 0.911 ± 0.024 ; el mayor valor se observó en PL3 (0.934) y el menor en PL23 (0.865). Tabla 2.

Tabla 2
Diversidad genética de los sistemas de reproductores de bocachico *P. magdalenae* por estación piscícola.

Locus		Repelón	SENA	Global
Pl3	N	59	54	113
	Na	26	25	35(25.5 ± 0.707)
	He	0.934	0.934	0.936 ± 0.004
	Ho	0.226	0.200	0.213 ± 0.018
Pl23	N	62	60	122
	Na	8	10	10(9 ± 1.414)
	He	0.869	0.865	0.867 ± 0.003
	Ho	0.016	0.033	0.025 ± 0.012
Pl26	N	58	59	116
	Na	16	16	16(16 ± 0.00)
	He	0.920	0.928	0.924 ± 0.006
	Ho	0.000	0.050	0.025 ± 0.035
Pl28	N	56	59	115
	Na	14	14	18(14 ± 0.00)
	He	0.873	0.911	0.892 ± 0.027
	Ho	0.097	0.167	0.132 ± 0.049
Pl34	N	60	55	115
	Na	11	11	11(11 ± 0.00)
	He	0.904	0.898	0.900 ± 0.004
	Ho	0.161	0.000	0.080 ± 0.114
Pl64	N	60	53	113
	Na	19	22	26(20.5 ± 2.121)
	He	0.937	0.917	0.927 ± 0.014
	Ho	0.129	0.150	0.139 ± 0.015
Pl119	N	59	55	115
	Na	17	18	26 (15 ± 4.243)
	He	0.938	0.927	0.933 ± 0.008
	Ho	0.065	0.300	0.182 ± 0.167

Fuente: Los autores.

Nota: Na es el número de alelos, los valores entre paréntesis son el promedio de alelos por locus con su desviación estándar; He es la heterocigosidad esperada; Ho es la heterocigosidad observada. Los valores entre paréntesis de estas dos variables corresponden a las desviaciones estándar

En cuanto a la estación de Repelón, los valores de heterocigosidad fueron $H_o=0.099\pm 0.0803$ y $H_e=0.912\pm 0.031$. Sólo para un locus no se observó ningún reproductor heterocigoto. El valor más alto de H_o se observó en el locus PL3 con 0.226. Para el caso de la H_e , el valor más alto se observó en PL119 con 0.938 y el más bajo en PL23 con 0.869 (Tabla 2.).

Endogamia

El índice de endogamia indicó que todos los locus presentaron un alto valor de consanguinidad, con valores por encima de 0.860 y con un promedio de 0.877 ± 0.069 . La mayor consanguinidad se observó con el PL3 (0.895) y la menor PL26 (0.861). La endogamia global (FIT) fue de 0.871 (IC= 0.818-0.921) y por estación piscícola (FIS) fue de 0.887 (0.855-0.915) para la estación de Repelón y 0.853 (0.819 - 0.882) para la estación del SENA (Tabla 3.).

Tabla 3

Valores totales del índice de endogamia para cada locus en el análisis genético de los dos sistemas de reproductores de bocachico P. magdalenae.

Locus	Fis	Locus	Fis
pl3	0.895	pl34	0.872
pl23	0.862	pl64	0.882
pl26	0.861	pl119	0.889
pl28	0.881	Promedio	0.877
D.E		0.029	

Fuente: Los autores.

Nota: D.E, corresponde a la desviación estándar de los valores, valores hallados por medio de la técnica de Jackknife

Equilibrio Hardy-Weinberg

Utilizando la prueba de [17], se pudo constatar que las dos poblaciones (SENA y Repelón) están fuera del equilibrio Hardy-Weinberg ($P<0.0001$). A su vez, el test U, propuesto por [18], demostró que la desviación del equilibrio Hardy-Weinberg es el resultado de un déficit de heterocigotos ($p<0.0001$).

Diferencia Genética

En general, el análisis de comparación de las distribuciones de las frecuencias alélicas por locus entre las dos estaciones piscícolas no permitió observar una diferenciación definida entre ambas (Figura 1), ya que la mayoría de los alelos presentaron similares frecuencias en las poblaciones de las dos estaciones. Sin embargo, en algunos locus se observó una pequeña diferencia debido a la presencia de alelos únicos en cada estación. Como lo observado para PL3, donde se amplificaron 26 alelos en la estación de Repelón, de los cuales 10 no estuvieron en la del SENA. También se observó que de los 25 alelos amplificados en el SENA, 8 no estuvieron en Repelón (Figura 1).

Utilizando el test de comparación a partir del estadístico F , se observó que las dos estaciones tienen poca diferenciación genética, dado que el valor de $F_{ST} (\theta)$ fue de 0.0104 (IC= 0.00003-0.0237).

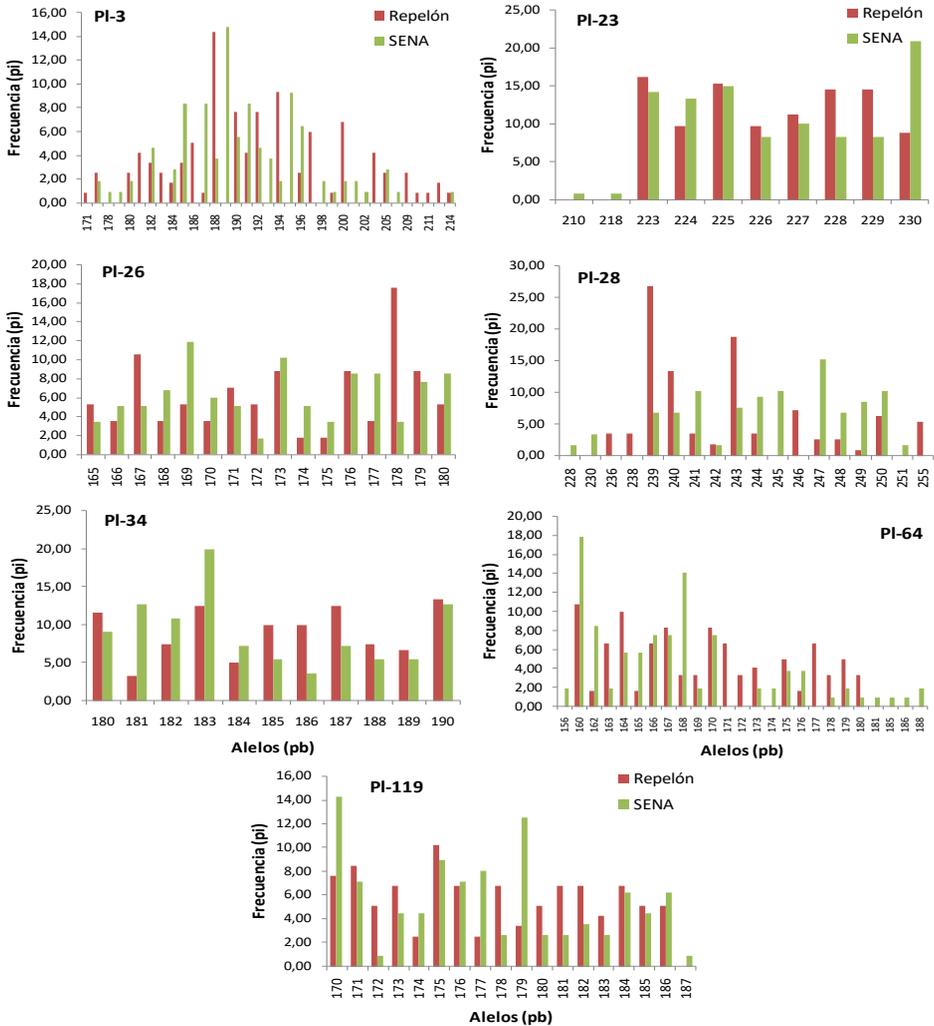


Figura 1. Frecuencias alélicas de cada locus en los sistemas de reproductores de bocachico *P. magdalenae* de las estaciones piscícolas de Repelón y SENA.

Fuente: Los autores.

Conclusiones y recomendaciones

Cuando se utilizan marcadores microsatélites para cuantificar la variabilidad genética de una población, se debe tener en cuenta la variedad de alelos que se pueden formar para cada uno de los loci. Los microsatélites

utilizados en esta investigación presentaron un promedio por encima de 15 alelos por locus, esto sugiere que los microsatélites empleados son una gran herramienta de información genética de esta especie [21].

Los valores encontrados difieren de los valores observados en *Prochilodus lineatus* publicados por [16], lo cual puede deberse al pequeño número de individuos utilizados en su estudio.

El polimorfismo observado en este estudio fue superior a los documentados en otras investigaciones. Por su parte [15], estudió las estaciones piscícolas que fomentan el repoblamiento de *Prochilodus magdalenae* en el río Sinú, reportando un polimorfismo por debajo a 12 alelos/locus. Con relación a estudios de poblaciones silvestres de otras especies del género, [22] documentaron un promedio de 12.4 alelos por locus, empleando cinco *loci* en el análisis de la población de *Prochilodus argenteus* en el río San Francisco en Brasil. [22], encontró un número de alelos que varió de 3 a 21 en las poblaciones de *Prochilodus costatus* en la parte media y alta del río San Francisco.

Con respecto a la variación genética, se evidenció que las dos estaciones piscícolas presentaron un potencial genético debido de la alta riqueza alélica y heterocigosidad esperada (H_e). Pero ese potencial no se evidencia en el estado actual del sistema de reproductores de bocachico de estas estaciones, debido a que los peces mostraron una alta endogamia (F_{is}) y una heterocigosidad observada (H_o) muy baja. En este sentido, como la pérdida de la variabilidad genética es naturalmente irreversible, es decir, sólo puede ser recuperada con la introducción de un nuevo material genético, es importante la conservación de la variabilidad genética en los lotes de reproductores mantenidos en cautiverio en las estaciones piscícolas [23].

Probablemente, esa alta endogamia y baja heterocigosidad observada (H_o), está asociada a un déficit de heterocigotos que puede ser explicado por tres razones: (1) al efecto fundador, un fenómeno común en las estaciones piscícolas cuando se establecen sistemas de reproductores a partir de un número reducido de peces que son homogéneos genéticamente [24]; (2) equivocadas prácticas de selección artificial que se aplican cuando con el mismo sistema de reproductores se realiza fomento de la acuicultura, dado que en la búsqueda de mejorar el desempeño en crecimiento y biomasa de

los cultivos se seleccionan peces muy emparentados [8], [25], [26]; y, (3) el origen de los peces que conforman el sistema de reproductores de una estación puede ser el mismo, reduciendo la heterocigosidad del sistema.

Realizando el análisis con las tres razones expuestas anteriormente y las condiciones presentadas en la estación se destaca: (1) los administradores de las dos estaciones manifiestan que no debe haber efecto fundador ya que el número de reproductores de cada estación es de aproximadamente 1500 peces; (2) es probable que la selección artificial se esté desarrollando en ambas estaciones para seleccionar peces por su tamaño y características similares, que luego son cruzados para obtener nuevos reproductores, este mal manejo reproductivo puede ocasionar una pérdida significativa de variabilidad genética en tan sólo una generación [8], [11], [12]; (3) los reproductores de ambas estaciones provienen del medio natural y siempre son capturados en las mismas zonas de las cuencas hídricas.

Adicionalmente se debe considerar que los peces capturados para conformar los sistemas de reproductores en las estaciones piscícolas pueden estar representando la condición genética actual de la población natural de bocachico, puesto que son capturados de las cuencas hídricas naturales. Sin duda, la sobreexplotación pesquera ejercida desde hace más de tres décadas [1] y la pérdida y degradación de su hábitat, pueden estar causando una reducción en la variabilidad genética de la población silvestre.

Por otra parte, se observó la presencia de alelos únicos para algunos *loci* en ambas estaciones piscícolas, lo cual es importante ya que está indicando la existencia de información genética diferente. Esto debe ser contemplado al momento de seleccionar los reproductores, porque cada alelo, es importante desde el punto de vista evolutivo y de esta manera sirve para aumentar la variabilidad genética de las progenies, para que estas a su vez la transmitan a las poblaciones del medio natural por medio del reemplazamiento, y así aportar a la conservación de la especie.

Según [11] para establecer un lote de reproductores con fines de reemplazamiento lo primordial es conocer la variabilidad genética de esos reproductores. En este estudio se pudo conocer la variabilidad de una muestra al azar (60 individuos) de los reproductores de dos estaciones piscícolas (Repelón y SENA), observándose valores muy bajos de heterocigosidad observada (H_o), pero estos mismos presentaron un

alto potencial genético, por medio de la heterocigosidad esperada (H_e). Sin embargo, con estos resultados se evidencia que los programas de repoblamiento de bocachico en Colombia se están desarrollando sin control y criterio científico, introduciéndose en el medio natural semilla con muy baja información genética, siendo urgente la necesidad de implementar herramientas moleculares para optimizar esta estrategia de conservación.

Bibliografía

- [1] J. I. E. Mojica, U. Oviedo, J. Usma, R. E. Alvarez León, and C. A. Lasso, *Libro rojo de peces dulceacuícolas de Colombia* (2012), no. Doc. 26063) CO-BAC, Bogotá. 2012.
- [2] AGRONET, “Volúmenes de pesca desembarcada por especie.,” 2012.
- [3] Y. J. Borrell *et al.*, “A parentage study using microsatellite loci in a pilot project for aquaculture of the European anchovy *Engraulis encrasicolus* L.,” *Aquaculture*, vol. 310, no. 3–4, pp. 305–311, 2011.
- [4] J. L. Horreo, J. de la Hoz, I. G. Pola, G. Machado-Schiaffino, and E. Garcia-Vazquez, “Ecological and economic costs of supportive breeding: Atlantic salmon (*Salmo salar*) as a case study,” *Aquaculture*, vol. 356, pp. 1–6, 2012.
- [5] A. P. Wasko, C. Martins, C. Oliveira, J. A. Senhorini, and F. Foresti, “Genetic monitoring of the Amazonian fish matrinchã (*Brycon cephalus*) using RAPD markers: insights into supportive breeding and conservation programmes,” *J. Appl. Ichthyol.*, vol. 20, no. 1, pp. 48–52, 2004.
- [6] D. A. Matoso *et al.*, “Two genetic stocks of *Steindachneridion melano dermatum* living in sympatry in nature and genetic variability of wild parents and F₁,” *Genet. Mol. Res.*, vol. 10, no. 4, pp. 2606–2612, 2011.
- [7] P. Hickley, “Stocking and introduction of fish—a synthesis,” *Rehabil. Freshw. Fish.*, pp. 247–254, 1994.
- [8] N. M. Lopera Barrero, R. Pereira Ribeiro, L. Vargas, D. C. Fornari, R. Nardez Sirol, and M. del P. Rodríguez Rodríguez, “Diversidad genética de *Brycon orbignyanus* en el sistema reproductivo semi-natural, utilizando el marcador RAPD,” *Zootec. Trop.*, vol. 28, no. 1, pp. 73–82, 2010.

- [9] J. A. Povh *et al.*, “Importância do monitoramento genético pela utilização de marcadores moleculares na piscicultura. CD-ROM,” *Aqua-Ciência, Bento Gonçalves, Bras.*, 2006.
- [10] A. A. Agostinho, S. M. Thomaz, and L. C. Gomes, “Conservation of the biodiversity of Brazil’s inland waters,” *Conserv. Biol.*, vol. 19, no. 3, pp. 646–652, 2005.
- [11] N. M. Lopera Barrero, R. Pereira Ribeiro, J. A. Povh, P. C. Gomes, L. Vargas, and S. Nogueira de Oliveira, “Caracterización genética de lotes de peces usados en programas de repoblamiento y su importancia en la conservación genética en la piscicultura,” *Zootec. Trop.*, vol. 26, no. 4, pp. 515–522, 2008.
- [12] H. L. M. Moreira, S. Zimmermann, R. P. Ribeiro, R. G. Bastos, L. D. Vargas, and J. A. Povh, “The use of RAPD (Random Amplified Polymorphism DNA) for genetic monitoring in breeding programs of tilapia,” *World Aquac. Salvador. Bras.*, p. 460, 2003.
- [13] L. A. Frost, B. S. Evans, and D. R. Jerry, “Loss of genetic diversity due to hatchery culture practices in barramundi (*Lates calcarifer*),” *Aquaculture*, vol. 261, no. 3, pp. 1056–1064, 2006.
- [14] T. Aho, J. Rönn, J. Piironen, and M. Björklund, “Impacts of effective population size on genetic diversity in hatchery reared Brown trout (*Salmo trutta* L.) populations,” *Aquaculture*, vol. 253, no. 1–4, pp. 244–248, 2006.
- [15] D. SANTACRUZ, W. USAQUÉN, and C. BURBANO, “Evaluación de la variabilidad genética con marcadores microsátélites del bocachico,” *Prochilodus magdalenae (Steindachner 1878), en el río Sinú, Colomb. Tesis Biólogo, Univ. Nac. Colomb. Bogotá, Colomb.*, 2003.
- [16] E. C. Rueda, J. Sommer, P. Scarabotti, R. Markariani, and G. Ortí, “Isolation and characterization of polymorphic microsatellite loci in the migratory freshwater fish *Prochilodus lineatus* (Characiformes: Prochilodontidae),” *Conserv. Genet. Resour.*, vol. 3, no. 4, pp. 681–684, 2011.
- [17] S. W. Guo and E. A. Thompson, “Performing the exact test of Hardy-Weinberg proportion for multiple alleles,” *Biometrics*, pp. 361–372, 1992.

- [18] M. Raymond, "GENEPOP (version 1.2): population genetics software for exact tests and ecumenicism," *J. Hered.*, vol. 86, pp. 248–249, 1995.
- [19] B. S. Weir and C. C. Cockerham, "Estimating F-statistics for the analysis of population structure," *Evolution (N. Y.)*, vol. 38, no. 6, pp. 1358–1370, 1984.
- [20] J. Goudet, "FSTAT, a program to estimate and test gene diversities and fixation indices, version 2.9. 3," <http://www2.unil.ch/popgen/softwares/fstat.htm>, 2001.
- [21] E. C. Rueda, P. Carriquiriborde, A. M. Monzón, G. M. Somoza, and G. Ortí, "Seasonal variation in genetic population structure of sábalo (*Prochilodus lineatus*) in the Lower Uruguay River," *Genetica*, vol. 141, no. 7–9, pp. 401–407, 2013.
- [22] L. F. Carvalho-Costa, T. Hatanaka, and P. M. Galetti Jr, "Evidence of lack of population substructuring in the Brazilian freshwater fish *Prochilodus costatus*," *Genet. Mol. Biol.*, vol. 31, no. 1, pp. 377–380, 2008.
- [23] M. Sekino, T. Sugaya, M. Hara, and N. Taniguchi, "Relatedness inferred from microsatellite genotypes as a tool for broodstock management of Japanese flounder *Paralichthys olivaceus*," *Aquaculture*, vol. 233, no. 1–4, pp. 163–172, 2004.
- [24] A. J. D. Ambali, R. W. Doyle, and D. I. Cook, "Genetic changes in *Oreochromis shiranus* (Trewavas) associated with the early stages of national aquaculture development in Malawi," *Aquac. Res.*, vol. 30, no. 8, pp. 579–588, 1999.
- [25] M. M. Ferguson and R. G. Danzmann, "Role of genetic markers in fisheries and aquaculture: useful tools or stamp collecting?," *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, vol. 55, no. 7, pp. 1553–1563, 1998.
- [26] J. A. Povh, N. M. Lopera Barrero, R. P. Ribeiro, E. Lupchinski Jr, P. C. Gomes, and T. S. Lopes, "Monitoreo genético en programas de repoblamiento de peces mediante marcadores moleculares," *Cienc. e Investig. Agrar.*, vol. 35, no. 1, pp. 5–15, 2008.

Evaluación del costo de producción de harina de hoja de ñame (*Dioscorea rotundata*) cultivado en el Departamento de Sucre

Evaluation of the production cost of yam leaf flour (*Dioscorea rotundata*) cultivated in the Department of Sucre

María Angélica Arias Agámez¹

Ricardo Miranda Cardona²

Rolando José López Martínez³

Resumen

En esta investigación se evalúan los costos de producción de harina a partir de la hoja de ñame (*Dioscorea rotundata*) cultivado en el Departamento de Sucre por medio de un sistema estándar de costos. Iniciando con la simulación en laboratorio del proceso productivo donde se obtuvo una muestra de la harina de ñame para caracterizar bromatológicamente en los laboratorios de AGROSAVIA para cuantificar sus macronutrientes y establecer el tipo de industria a la cual ayuda, luego se determinó la maquinaria, insumos, mano de obra y servicios que se requiera en una producción a escala industrial y el costo de los mismos. Permitiendo estimar el costo por unidad de producción en \$4.487,87, fijando un precio de venta de \$ 5.000 pesos, el cual se encuentra posicionado de forma intermedia frente a otras harinas comerciales, donde se resalta su considerado contenido de proteína de 12,35% que la hace apta para la producción de alimentos para animales y posiblemente para humanos.

1 Ingeniera Industrial, Corporación Universitaria del Caribe, Sincelejo, Colombia

2 Ingeniero Industrial, Corporación Universitaria del Caribe, Sincelejo, Colombia

3 Docente Facultad de Ciencias Básicas, Ingeniería y Arquitectura, Corporación Universitaria del Caribe, Sincelejo, Colombia.

Palabras clave: Ñame, Costos, Elaboración, Hoja, Bromatológico, Harina.

Abstract

In this research the costs of flour production from the yam leaf (*Dioscorea rotundata*) cultivated in the Department of Sucre are evaluated through a standard cost system. Starting with the laboratory simulation of the production process where a sample of the yam flour was obtained to characterize bromatologically in the AGROSAVIA laboratories to quantify its macronutrients and establish the type of industry to which it helps, then the machinery, supplies, labor and services required in an industrial scale production and the cost thereof. Allowing estimate the cost per unit of production in \$ 4,487.87, setting a sale price of \$ 5,000 pesos, which is positioned in an intermediate way compared to other commercial flours, which highlights its considered protein content of 12.35% that makes it record for the production of food for animals and possibly for humans.

Keywords: Yam, Costs, Elaboration, Leaf, Bromatological, Flour.

Introducción

El ñame es un tubérculo de gran relevancia en la región caribe colombiana al servir como sustento alimenticio por varias décadas para muchas familias [1]. Razón por la cual no solo se centraliza su consumo en esta región, sí no que también lo ha hecho su producción. Aportando los Departamentos de Córdoba, Bolívar, Antioquia y Sucre el 90 % de la producción nacional de ñame, mientras que otros departamentos como Chocó, Cesar, La Guajira, y Amazonas tienen una participación mucho menor [2]. Colombia se encuentra dentro de los 10 países del mundo con una alta producción de ñame contando 416.427,22 toneladas en el año 2016 ocupando el lugar número 19 con respecto a rendimiento con un valor de 9,8 toneladas por hectárea sembrada [3]. En el Departamento de Sucre el ñame es empleado solamente para ser consumido en fresco y en diversas recetas culinarias al servir como un reemplazo de la yuca o papa.

En las labores de cosecha las hojas de ñame son desechadas durante el proceso de recolección del tubérculo, debido a la desinformación que existe

sobre las propiedades nutricionales y uso de estas. Estudios afirman que las hojas del ñame poseen componentes nutricionales en mayor proporción a los del tubérculo (Tabla 1), pudiendo remplazar su harina o el almidón como materias primas en la industria alimentaria y no alimentaria [4].

Tabla 1

Datos comparativos de análisis nutricional de la hoja y tubérculo (Dioscorea alata).

Parámetros	Hoja/ 100g (en base de seca)	Tubérculo/ 100g (en base de seca)
Valor calórico total	172,06kcal	271,77kcal
Fibra	42,65%	22,58%
Proteínas	17,52%	8,28%
Cenizas	9,47%	5,52%
Humedad	10,31%	11,15%
Lípidos	4,42%	2,09%
Carbohidratos	58,28%	76,96%
Fosforo	22,08%	0,63%
Hierro	8,83%	4,00%
Sodio	73,82%	30,70%
Potasio	45,87%	65,90%

Fuente: [5]

Por tal motivo, esta investigación se centra en la estimación de los costos de producción de la harina a base de hoja de ñame espino (*Dioscórrea rotundata*), a través del estudio técnico, la caracterización bromatológica de la harina de hoja y estimación de los costos del proceso de transformación. Buscando con estos resultados brindar mayor información al sector primario y agroindustrial sobre el contenido de macronutrientes de la hoja de ñame y su aprovechamiento en la transformación de harina como producto procesado destinado a la alimentación humana o animal, etapas necesarias para estimar los costos de producción que servirán de insumos para futuras implementaciones de escalamiento industrial de esta alternativa tecnológica.

Materiales y Métodos

Esta investigación es de tipo descriptiva-cuantitativa, realizada en el laboratorio de Bioprocesos de la Corporación Universitaria del Caribe – CECAR (Sincelejo - Sucre) y el laboratorio especializado de Química Analítica de AGROSAVIA (Cerete - Córdoba).

Materia prima

Las hojas de ñame espino (*Dioscórea rotundata*) fueron recolectadas en el corregimiento El Yeso de Morroa – Sucre de forma manual, seleccionando las hojas en buenas condiciones descartando aquellas que tuvieran cualquier tipo de daño visible.

Obtención de la harina de hoja de ñame.

Las etapas de proceso y materiales utilizados a nivel de laboratorio para la obtención de la harina de hoja de ñame se describen en la Tabla 2.

Tabla 2

Etapas de proceso y materiales empleados en la obtención de la harina de ñame espino.

Etapas	Materiales
Recolección y selección	Guantes de polipropileno Botas pantaneras. Tapabocas. Tijeras de podar pequeñas. Balde plástico con sacos.
Pesaje	Báscula de 5000 gramos
Lavado y desinfección	Agua. Solución de hipoclorito (20 ppm). Recipientes plásticos.
Picado	Procesadora de alimentos (Discos de picado y discos de rallado) Philips
Secado	Horno a gas (70°C durante 2 horas). Bandejas de secado.
Molienda	Molino de tornillo sin fin (Corona)
Tamizado	Tamiz (malla # 40) Tyler
Empaque	Bolsas polietileno con cierre hermético (Ziploc).

Fuente: Propia.

Análisis bromatológico

Se envió una muestra de harina de hoja de ñame espino de 250 g al laboratorio especializado AGROSAVIA donde se realizó el análisis bromatológico, para determinar el contenido de humedad (Gravimétrico; ISO 6496-NTC 4888), cenizas (AOAC 942.05, 2008), grasa (AOAC 2003.06, 2006), proteína (AOAC 960.52, 2008) y fibra cruda (ISO 6865-NTC 5112).

Costos de producción de la harina de ñame espino.

La evaluación de los costos asociados al proceso productivo se realizó por medio del método de costeo estándar, el cual permite determinar el costo estimado del producto trabajando en condiciones ideales [6]. Teniéndose en cuenta los costos de: compra de insumos y materiales, equipos, mano de obra, almacenaje, entre otros que inciden directamente en la obtención de un kilo de harina de hoja de ñame [7].

Resultados y Discusión

Análisis Bromatológico

El análisis bromatológico de las hojas de *Dioscorea rotundata* mostró mayor contenido de proteína (Tabla 3), frente a resultados obtenidos para la harina de ñame y de trigo con un 1,172% y 7,752% de proteína respectivamente [8]. Así como también para la harina de plátano Papocho con un valor máximo de 6,7% reportado por la Universidad de Córdoba [9].

Caso contrario, al contenido de proteína de la harina de hojas ñame de la variedad *Dioscorea alata* cuantificada por [5] en 17,52% y a la harina de hoja de yuca conseguido por [10] de 24,77%, quien duplica el valor de la harina de las láminas foliales del ñame, pese a esto su contenido de proteína es de gran importancia para la industria alimentaria en la producción de concentrados.

Tabla 3
Composición Bromatológica de la hoja Dioscorea rotundata.

Parámetros	Hoja/ 100g (en base de seca)
Humedad	9,63 %
Cenizas	9.91 %
Grasa	3.23 %
Proteína	12.35 %
Fibra Cruda	34.85 %
Carbohidratos	30.03%

Fuente: Laboratorio especializado AGROSAVIA

Costeo estándar del proceso de producción de harina de ñame *Dioscorea rotundata*.

Para determinar del costo estándar del proceso, se escaló teóricamente a nivel industrial el proceso productivo realizado en laboratorio para determinar el costo de un kilogramo de harina de ñame. Iniciando con la determinación de la capacidad de los equipos y sus valores comerciales, suministrados por diversos proveedores (Tabla 4). Donde el valor depreciable por año es de \$ 742.500 pesos durante los 10 años de vida útil de los mismos, teniendo en cuenta un valor de rescate de \$ 3.000.000 de pesos.

Tabla 4
Costo de maquinaria requerida.

Maquinaria	Costo
Balanza	\$ 415.000
Picadora eléctrica	\$ 1.400.000
Horno	\$ 5.234.000
Molino de martillo	\$ 2.000.000
Tamiz	\$ 1.200.000
Otros (Tijeras, sacos, Bandejas de secado)	\$ 176.500
Total	\$ 10.425.500

Fuente: Propia

Los costos variables basados en la producción de un kilo de harina de ñame se detallan en la Tabla 5. Para calcular el valor de la materia prima se tomó como referencia la investigación realizada por [10], en la producción de harina de hoja de yuca en la ciudad de Popayán, trayendo su valor al 2016, debido a que no hay un el valor comercial estipulado para la hoja de ñame.

Tabla 5
Costo de producción de un kilo la hoja Dioscorea rotundata.

Conceptos	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
Materia prima	9	\$ 63	\$ 567
Agua	0.012	\$ 2.030	\$ 24,36
Electricidad	0,0000025	\$ 1.300	\$ 0,0
Empaque	0,01	\$ 400	\$ 4,0
Mano de Obra	1,13	\$ 2.872	\$ 3.245,36
Total			\$ 4.487,87

Fuente: Propia.

El costo por unidad de producción es de \$4.487,87, permitiendo fijar un precio de venta al público estimado en \$5.000 pesos por Kilogramo, generando una utilidad del 11,4%. Al comparar este valor comercial con el de otras harinas como la de; maíz, trigo, avena es mayor, pero inferior a la de arroz y quinua, pese a que todas se emplean en la industria alimentaria, la harina de la hoja de ñame también puede emplearse como materia prima en sectores tales como el farmacéutico, el bioetanol y bioplástico, por lo tanto, su uso en la industria es mucho más diversificado [1].

Conclusiones

El costo por unidad de producción es de \$4.487,87, se debe tener en cuenta, que el estudio se realizó en la ciudad de Sincelejo-Sucre en el 2016, por lo tanto, la implementación en otra ciudad puede generar cambios en los costos de producción.

La producción de la harina de hoja de ñame es viable siempre y cuando el uso o destino que se le dé sea el industrial, ya que su precio de venta es un poco elevado comparado con otras harinas que existen en el mercado, pero es de gran relevante mencionar la facilidad de adquisición de la materia prima en el Departamento de Sucre y su contenido de proteína del 12,35%.

Referencias

- [1] Y. R. Aranza, «El cultivo del ñame en el Caribe colombiano,» Banco de la República, Cartagena, 2012.
- [2] AGRONET, «AGRONET,» [En línea]. Available: <http://www.agronet.gov.co/Paginas/default.aspx>. [Último acceso: 27 Octubre 2016].
- [3] FAO, «Organización de la naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura; Estadística,» [En línea]. Available: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>. [Último acceso: 27 Julio 2016].
- [4] CORPOICA, «Concepción de un modelo de agroindustria rural para la elaboración de harina y almidón a partir de raíces y tubérculos promisorios, con énfasis en los casos de achira (*Canna edulis*), arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) y ñame (*Dioscorea sp.*),» Bogotá, 2003.
- [5] L. P. M. Magalhães, «Estudo Fitoquímico e Biológico das folhas da dioscorea alata (DIOSCOREACEAE).,» Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2004.
- [6] M. I. D. Roldán, J. A. O. Agudelo y D. M. A. Hernández, «ANÁLISIS DE LA APLICACIÓN DEL SISTEMA DE COSTEO ESTÁNDAR EN LAS EMPRESAS MANUFACTURERAS COLOMBIANAS,» *Instituto Internacional de Costos*, vol. Edición Especial , n° XII Congreso, pp. 97- 99, 2012.
- [7] T. d. J. A. Quijano, Libro práctico sobre contabilidad de costos., Bucaramanga: Universidad de investigación y desarrollo., 2009.
- [8] E. S. d. Marcano y M. Marcano, «La harina de ñame (*Dioscorea alata*), un ingrediente potencial en la elaboración de productos de panadería.,» *Multidisciplinaria del Consejo de Investigación de la Universidad de Oriente* , vol. 23, n° 2, pp. 134 - 140, 2011.

- [9] P. J. E. Pérez, Y. J. P. Plaza y A. P. M. Puente, «Características del análisis proximal de harinas obtenidas de frutos de plátanos variedades Papocho y Pelipita (Musa ABB Simmonds),» *Acta Agronómica*, vol. 62, n° 3, pp. 189 -195, 2013.
- [10] A. G. Toro, «Estudio de la obtención de harina de hojas de yuca (Manihot esculenta Crantz) para consumo humano.,» Universidad del Cauca, Popayán, 2006.



Edición digital
Ingeniería aplicada al sector agropecuario
Diciembre de 2018
Sincelejo, Sucre, Colombia

Ingeniería Aplicada al sector agropecuario

La investigación en el sector agropecuario desempeña un papel fundamental, se necesitan nuevos conocimientos científicos que puedan ser aplicados en la práctica para hacer frente a los retos que se presenten. Ahora bien, para lograr un desarrollo eficiente del sector agropecuario se deben apoyar e invertir en actividades de ciencia, tecnología e innovación, mediante el desarrollo de investigaciones y prototipos que proyecten la mejora de los rendimientos de los sistemas, minimización de los costos asociados, entre otras ventajas comparativas que permitan competir con otras regiones y productos. En este sentido, los procesos de ingeniería aplicados al sector agroindustrial se consideran como uno de los principales motores que permiten crear ventajas competitivas a los diversos sistemas agropecuarios, que se presentan como economías emergentes, priorizadas y de gran relevancia dentro de los documentos sectoriales y prospectivos.