

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].

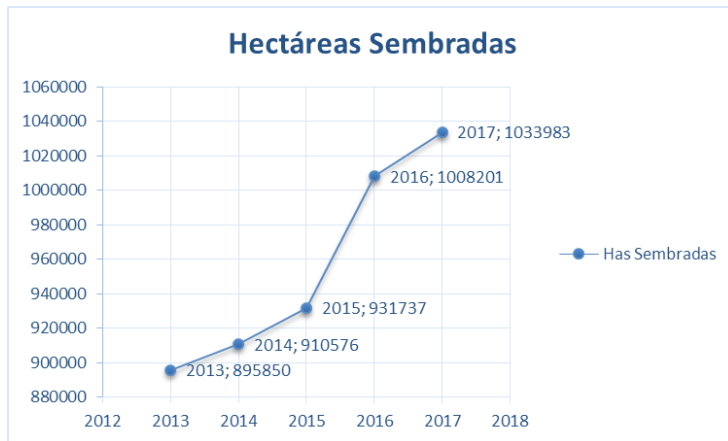


Figura 1. Área Hortofrutícola sembrada 2013 – 2017.

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 Asofrucol-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 annum	80.000
Chirel	Capsicum annum	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.

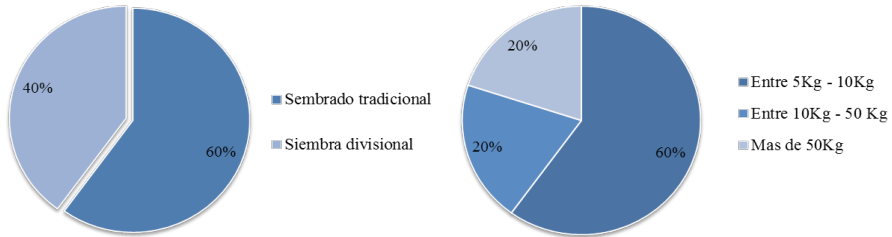


Figura 3. Método de siembra y cantidad obtenida en la producción de ají. Fuente: Los autores.

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.

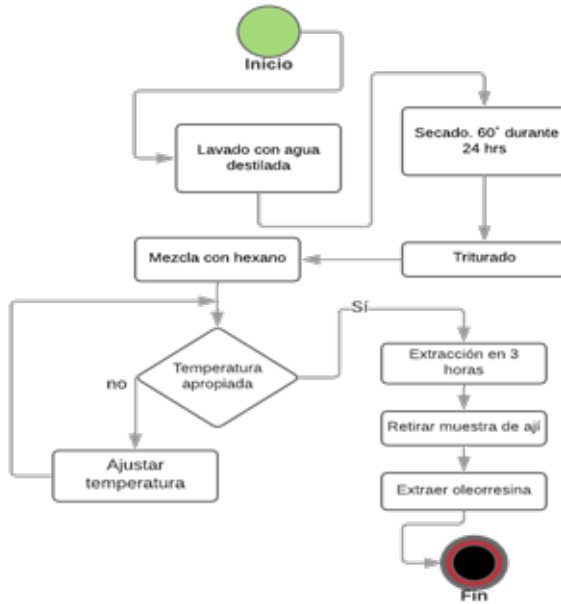


Figura 4. Diagrama de flujo de proceso para obtención de capsaicina.

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.

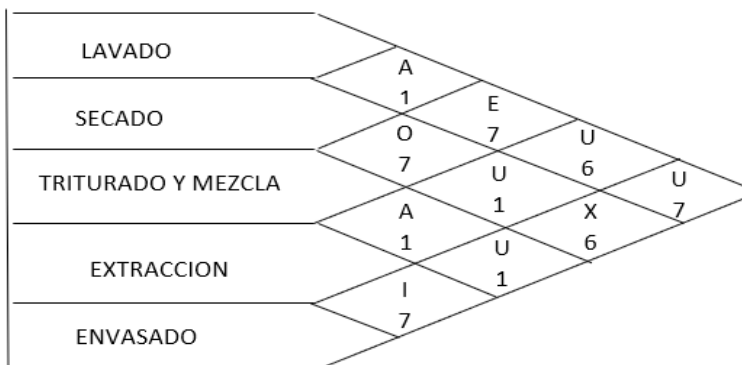


Figura 5. Diagrama de relaciones y actividades aplicados a la planta de obtención de capsaicina.

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.

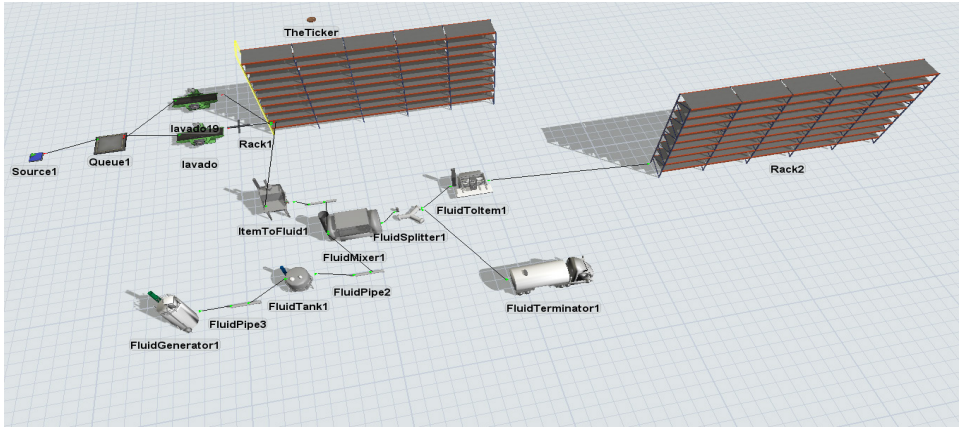


Figura 6. Representación en el software Flexsim.

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.

