

Diseño de sistema productivo para el aprovechamiento de la pulpa del aguacate Hass

Design of a production system for the utilization of avocado pulp Hass

Autores:

Andrés Cardona Jaramillo

andres.cardona2274@uco.edu.co

Estudiante de Ingeniería Industrial, Universidad Católica de Oriente

Miembros del Semillero SICREV

Diego Alejandro Mosquera Castaño

diego.mosquera8685@uco.edu.co

Estudiante de Ingeniería Industrial, Universidad Católica de Oriente

Miembros del Semillero SICREV

Autor Corresponsal:

David Alejandro Granados-Morales

Docente de tiempo completo Ingeniería Industrial

dgranados@uco.edu.co

Grupo de Investigación en Ingeniería Multidisciplinar

Universidad Católica de Oriente

Resumen

En el presente trabajo se buscó dar aprovechamiento al mesocarpio del aguacate tipo Hass en Colombia, realizando la implementación de un sistema productivo que se dedique a la extracción de aceite de aguacate. Para dicha implementación se desarrolló un análisis de localización para el sistema productivo, por lo que se recurrió a la aplicación de tres metodologías enfocadas en el análisis de diversos factores que darán como respuesta la mejor localización para la planta de extracción de aceite de aguacate; las metodologías utilizadas durante el análisis fueron la ponderación de factores, centro de gravedad y punto de equilibrio; estas permiten determinar con mayor exactitud una ubicación óptima para la instalación de la planta o sistema productivo. Posteriormente, se llevó a cabo la selección de maquinaria y herramientas necesarias para el desarrollo del proceso productivo, teniendo en cuenta el flujo de proceso y las etapas que hacen parte de éste. Finalmente, se desarrolló un análisis de la superficie requerida para la instalación de máquinas y zonas administrativas que hacen parte de la estructura de la planta. Teniendo definida la superficie necesaria para ésta, se efectuó el diseño en un modelo 3D, por el cual fue posible evidenciar la distribución final.

Palabras clave

Aceite de aguacate; Aguacate; Sustentabilidad; Sistema productivo; Aprovechamiento.

Abstract

This work seeks to take advantage of the Hass avocado mesocarp in Colombia by implementing a production system dedicated to the extraction of avocado oil. For such implementation, a location analysis is developed for the productive system, application of three methodologies focused on the analysis of various factors that determine the best location for the avocado oil extraction plant. Methodologies used during the analysis are the weighting of factors, center of gravity and equilibrium point. Subsequently, the selection of machinery and tools necessary for the development of production process is carried out and taking into account the process flow diagram and the stages that are part of it. Finally, an analysis of the surface required for the installation of machines and administrative areas was developed. With the necessary surface for the plant, the design of it is carried out in a 3D model in which it is possible to show the final distribution.

Key words

Avocado oil; Avocado; Sustainability; Production system; Utilization.

Introducción

El aguacate es una fruta-verdura que tiene una gran aplicación para la obtención de productos derivados en diferentes presentaciones e industrias a partir de un aprovechamiento de las diferentes partes y componentes de este. La producción y exportación de aguacate tipo Hass ha presentado un incremento exponencial en gran cantidad de países pertenecientes al continente americano, lo que favorece, en gran medida, al crecimiento económico de cada uno de estos (Agricultura, 2021).

En este sentido, Colombia es uno de los principales países productores de aguacate Hass del continente, acompañado por México, Chile y Perú, quienes lo anteceden dentro del ranking mundial. En Colombia las importaciones desde el 2014 hasta el 2017 disminuyeron en un 96 %, pasando de 3.128 toneladas a 133 toneladas, mientras que las exportaciones pasaron de 1.760 toneladas a 28.487 toneladas en el mismo rango de tiempo (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [Minagricultura], 2018). A pesar de esto, la producción de productos derivados del aguacate en Colombia no es un aspecto sobresaliente, ya que la mayor parte es exportada como materia prima y aprovechada como un insumo industrial para una gran cantidad de productos en otros países.

De otro lado, el aceite de aguacate es un producto compuesto principalmente de ácido oleico, concentrado en ácidos grasos esenciales y vitaminas A, E, así como varias vitami-

nas del grupo B. Gracias a su composición es un producto que tiene gran aplicación dentro de la industria cosmética; de igual manera, es un excelente antioxidante y ayuda al rejuvenecimiento de la piel. Además de esto, puede ser utilizado para mejorar el cuidado del cabello, así como también ayuda a prevenir problemas oculares (Nieto et al., 1988).

Atendiendo al tema, y desde una revisión documental, se encontró el trabajo presentado por Farinango Chicaiza (2016), el cual llevó a cabo la elaboración de una salchicha tipo Frankfurt en la que se sustituye la grasa animal por pulpa de aguacate tipo Hass; se reporta que el contenido de ácidos grasos insaturados en la pulpa, presente en el perfil lipídico, es mayor que la relación a la grasa animal, mientras que la proporción de ácidos grasos saturados es menor, determinando así la influencia de esta aplicación en la información nutricional y conservación de la salchicha tipo Frankfurt. De igual manera, Loaiza & López (2013) llevaron a cabo un pretratamiento en el que adecuaron las propiedades organolépticas del aguacate, con el fin de que cumplieran las condiciones óptimas como la inactivación de la enzima *Polifenol Oxidasa* para evitar el oscurecimiento de la salsa paragarantizar la calidad y vida útil de la misma. Cumpliendo esto, un estudio de mercado determinó que era factible llevar a cabo el desarrollo de este tipo de salsas. En un trabajo similar, publicado por Silva et al. (2019), se llevó a cabo la utiliza-

ción de sobrantes en un proceso de extracción de aceite, que aún conservan las vitaminas, para la elaboración de guacamole; el cual fue mezclado con partes de aguacate en buenas condiciones, y, posteriormente, distribuido en Ecuador. A partir de un estudio de mercado se logró determinar que un 80 % de la muestra utilizada aceptó este producto.

Otra opción para el aprovechamiento del aguacate fue la planteada por Olaeta (2008), quien presentó el uso de la pulpa de aguacate como un producto refrigerado, el cuál podría ser almacenado entre 8 y 10 meses; sin embargo, se observó que la calidad decreció después de 3 meses. Para que la calidad del aguacate en estos periodos de tiempo no se deteriorase, se incluyó la adición de una gran cantidad de aditivos que podían superar el 20 % de la composición, convirtiéndolo en un producto no orgánico.

Por otro lado, un estudio en el que se evaluó la calidad cosmética de una crema elaborada a partir de la pulpa del aguacate fue realizado por Restrepo y Nieto (2017). Según este trabajo, los ácidos grasos presentes en las composiciones de las cremas suministran a la piel propiedades como la humectación; además, dicho producto presentó características como una consistencia adecuada, color blanco, olor agradable, pH de 6.478 y una viscosidad de cP 3957 (100 off: 53.2 %). Este producto presentó una buena aceptación frente a las evaluaciones comerciales que se realizaron.

Así las cosas, también se ha demostrado que el aguacate, dependiendo de la variedad y madurez, puede alcanzar en la pulpa niveles de hasta 25 % (w.b) de aceite, con valores que,

en promedio, varían entre el 17 % y 19 % (w.b); esto, a partir de diferentes métodos de extracción, permite lograr rendimientos sobre el 10 % de la fruta. Por su lado, si se implementan técnicas de extracción del aceite, utilizando enzimas en frío, se logra obtener una extracción de hasta 84,57 %, dando como resultado un aceite extra virgen de color verde intenso, con sabor y aroma característico (Acoña, 2011).

Asimismo, Serpa et al. (2014) evaluaron la extracción de aceite de aguacate prensado en frío a dos presiones de trabajo (2000 PSI y 2500 PSI), donde el resultado con mayor rendimiento de extracción (55.53 %) se presentó durante el prensado de la pulpa congelada durante seis horas y prensada a 2500 PSI. Lo anterior, permitió establecer que la deshidratación por liofilización es un buen tratamiento para la remoción del agua de la pulpa, lo que permite obtener aceites de muy buena calidad. Se demostró, además, que los métodos en los que se incluye la adición de solventes, finalmente, afectan la calidad organoléptica y nutricional del aceite de aguacate. Buevas Salgado et al. (2012) también realizaron un estudio, en el cual se efectuó una extracción, pero a través de tres complejos enzimáticos: *Pectinex*, *Novozym* y *Ultrazym*, y con tres niveles de concentración de enzimas (150, 200 y 250 ml/t. de mezcla), con el fin de evaluar la cantidad de aceite extraído. De acuerdo con este estudio, se obtuvo que con la enzima *Pectinex* se dio el mejor desempeño, con una concentración de 200 ml de enzima/t, y con esta mezcla se obtuvo un rendimiento de extracción de aceite del 60 % en el estado de madurez. Como conclusión, se obtuvo que el tratamiento con complejos enzimáticos es una

alternativa viable para la extracción de aceite. Finalmente, Yepes et al. (2017) utilizaron un diseño estadístico completamente al azar, en el que consideraron como variable de respuesta el porcentaje de extracción de aceite. Como conclusión del trabajo se obtuvo que la temperatura óptima de extracción del aceite para este proceso fue de 55 °C, con un rendimiento del 60.2 %, sin causar deterioro a la calidad del aceite. De acuerdo con la norma NTC 199, el aceite de aguacate obtenido pudo clasificarse como un producto extra virgen, con características similares a las del aceite de oliva. Se encontró también un contenido de ácidos grasos insaturados de 759,292 mg/100 g y 12862,302 mg/100 g, y de Vitamina E de 10,11 mg/100 g, lo cual convierte al aceite de aguacate en un alimento altamente nutritivo y funcional (Betancur et al., 2017).

En este orden de ideas, es posible observar la gran aplicación que tiene el aguacate para la obtención de productos derivados. De igual manera, es posible evidenciar el gran aprovechamiento que se le puede dar a esta fruta-verdura, a partir de la producción del aceite de aguacate, por lo cual se decidió enfocar la investigación en el diseño de una planta de producción de aceite de aguacate, teniendo en cuenta el gran potencial que tiene Colombia en cuanto al aprovechamiento de esta materia prima.

Para la realización del diseño de la planta se llevó a cabo un análisis de factores de incidencia y lugares potenciales, en aras de tomar decisiones sobre la ubicación más óptima para la instalación de una planta de producción de aceite de aguacate; esto, mediante la implementación de diversas metodologías, como

lo son la identificación de características para el sistema, a partir de la revisión literaria; el estudio de localización por medio de la ponderación de factores clave, al momento de establecer la planta en una región; el análisis de centro de gravedad; y el punto de equilibrio que relaciona costos fijos y variables. Finalmente, el diseño de la planta se realizó a partir de la identificación y análisis del tipo de distribución de la planta, tipo de tecnología y el diseño 3D, a partir del software *Sketchup*.

Metodología

El estudio de localización implementado para el desarrollo de este artículo buscó determinar la zona óptima en la cual se debía ubicar la planta de producción de aceite de aguacate, a partir de tres herramientas que permiten el análisis de información y la toma de decisiones. También, se llevó a cabo un estudio del proceso en el cual se buscó identificar el tipo de proceso, sus características y requerimientos, para que el funcionamiento del sistema fuera óptimo; de esta manera, el estudio se realizó con ayuda de tres metodologías básicas para el entendimiento del sistema de extracción de aceite de aguacate. Además, se estudió el flujo del proceso, las maquinarias necesarias y tecnologías requeridas por el sistema. A continuación, se describe cada una de las metodologías utilizadas.

Ponderación de factores

Para iniciar la investigación, se determinaron los factores críticos de éxito y que influyen de manera directa dentro de la constitución de la empresa para la extracción de aceite de aguacate.

cate. Para ello, se determinaron los departamentos en los cuales sería más factible la ubicación de la planta de producción, de acuerdo con los factores de mayor importancia. Esta evaluación se llevó a cabo mediante la metodología de calificación de factores, en la cual se dio un peso a cada uno de los factores con niveles entre 0 y 1, de acuerdo con su nivel de importancia e influencia. Posteriormente, se realizó una ponderación donde se tuvieron en cuenta las correlaciones más influyentes de cada uno de los factores dentro de cada departamento, con una calificación entre 0 y 100. De esta manera, se pudo determinar el departamento más idóneo para la ubicación de la planta.

Centro de gravedad

La ubicación óptima del departamento se realizó a partir de un análisis de las coordenadas, correspondientes a cada una de las ubicaciones de los proveedores de materia prima y los centros de distribución a los cuales será transportado el producto final, y su volumen, a partir de las coordenadas de centro de gravedad mostradas en las Ecuaciones 1 y 2:

$$\text{Coordenada } x \text{ centro de gravedad} = \frac{\sum d_{ix}Q_i}{\sum Q_i} \quad (1)$$

$$\text{Coordenada } y \text{ centro de gravedad} = \frac{\sum d_{iy}Q_i}{\sum Q_i} \quad (2)$$

Donde:

d_{ix} : Coordenadas correspondientes a la latitud

d_{iy} : Coordenadas correspondientes a la longitud

Q_i : Ponderación de los factores incluidos en el análisis

Flujo de proceso

Se propuso un diagrama en el cual fue posible observar cada una de las etapas del proceso productivo, y cuya finalidad es modelar sus etapas y comportamiento mediante la implantación de símbolos, los cuales permiten identificar las acciones generales que hacen parte de las actividades que le conforman (Heizer y Render, 2004).

Para la selección de la maquinaria se llevó a cabo un análisis de las diversas tecnologías que cumplen características para la realización de las actividades correspondientes al proceso productivo. Esta selección se fundamentó en una ponderación de factores, en la cual se designó un valor de importancia o peso para cada una de las características que se tuvieron en cuenta, y estos factores se convirtieron en caracte-

rísticas importantes para el proceso, en tanto se adecuaron a las necesidades y requerimientos de éste (Heizer y Render, 2004).

Análisis de superficies y distribución en planta

Para el cálculo del área o superficies requeridas para la distribución en planta de la maquinaria, así como el espacio total, se llevó a cabo un análisis de superficie, utilizado para la asignación de espacios en diferentes procesos productivos, entre los que se encuentran (Heizer y Render, 2004).

- Superficie estática: Es el área exacta que ocupan las máquinas. $S_s = \text{Largo} * \text{Ancho}$.
- Superficie gravitatoria: Se obtiene a partir de la superficie estática, multiplicado por un valor N, el cual es el número de lados por los cuales es posible operar la máquina. $S_g = S_s * N$
- Superficie evolución: Determina el espacio que necesita el operario para trabajar junto a la máquina, y se obtiene de sumar la superficie estática con la gravitatoria, y multiplicar esta sumatoria por una constante K, la cual hace referencia al tipo de proceso o empresa (ver Tabla 1). $S_e = (S_s + S_g) * K$
- Superficie total: Es la sumatoria de las superficies anteriores. $S_t = S_s + S_g + S_e$
- Plano de la planta: Para hacer el modelo de la planta se utilizó alguno de los softwares de diseño de planos, como *Sketchup*, *Rinoceros*, *Autocad*, los cuales facilitan una visión más realista de la planta.

Resultados

Ponderación de factores

Cercanía de proveedores

Este factor se considera como uno de los principales para tener en cuenta, ya que es de gran importancia definir la ubicación de la planta, con respecto a los departamentos en los cuales se presenta mayor cantidad de proveedores o disponibilidad de materia prima, por los volúmenes de producción.

Para fundamentar este factor se inició con un análisis departamental, teniendo en cuenta principalmente la producción, el área cosechada y el rendimiento para los tres departamentos que sobresalen en cada uno de estos aspectos, además de la cantidad de aguacate requerida.

Como es posible observar en la Tabla 1, los departamentos con mayor producción, área cosechada y rendimiento son Tolima, Antioquia y Caldas, por lo cual, y a partir de éstos, se lleva a cabo el análisis de cada uno de los factores para la instalación de la planta de producción.

Cercanía de los mercados

Para la evaluación del factor cercanía a los mercados, se partió del análisis de un estudio de mercados realizado por Riveros y Leal (2016), en la Universidad de los Llanos, (Villavicencio). En dicho estudio se realizó un cuestionario a las personas de la ciudad para determinar preferencias y tendencias de los clientes potenciales para el consumo de aceite de aguacate, y de esta manera determinar acciones y estrategias para atacar este nicho del mercado. Así las cosas, y con base en los resultados obtenidos en el estudio de mercado, se decidió enfocar la investigación en un análisis de estratificación mayor a tres, sexo e ingresos de la población, en los departamentos elegidos anteriormente, para de esta forma determinar la posible calificación del factor cercanía a los mercados.

Servicios públicos

Este factor se enfocó principalmente en los aspectos económicos y financieros, en los cuales se presentan los menores costos en cuanto a los servicios básicos necesarios para una planta de producción. De igual manera, se debe tener en cuenta un análisis sobre los

departamentos en los cuales se presta con mayor calidad cada uno de estos servicios. En este factor, fueron evaluados diferentes aspectos con el fin de determinar las condiciones nacionales en las diferentes prestaciones de servicios públicos. En el Anexo 1 puede profundizarse en los análisis de este factor.

Costo de materia prima

La importancia de este factor se debe a la necesidad de minimizar los costos de producción, obteniendo la materia prima más económica posible, sin dejar de lado la calidad de esta. Por ello, se realizó una búsqueda sobre los precios del aguacate en cada uno de los departamentos en los cuales se realizó el estudio.

De acuerdo con la información obtenida de Agronet (2018) y la indagación realizada en las diferentes plazas de mercado (2020), en el Tabla 2 pueden observarse algunos incentivos gubernamentales para temas relacionados con aguacate, los cuales fueron relevantes a la hora de calificar este factor en los departamentos seleccionados.

Calificación de factores

A partir del análisis de factores, se llevó a cabo la asignación del peso de cada factor, teniendo como base una escala de 0 a 1, y la calificación de cada uno de éstos, en relación con los departamentos seleccionados, teniendo una escala de 0 a 100. (Ver página 134)

Tabla 1
Área y producción departamental

Departamento (ha)	2017			2018			2019*		
	Área Sembrada	Producción (t)	Rendimiento (t/ha) (ha)	Área Sembrada	Producción (t)	Rendimiento (t/ha) (ha)	Área Sembrada	Producción (t)	Rendimiento (t/ha)
1 Tolima	13.348	72.063	7	13.861	76.674	8	15.247	84.341	8
2 Antioquia	11.992	133.461	8	13.047	137.292	9	14.352	151.021	9
3 Caldas	9.821	81.447	10	10.958	88.734	10	12.054	97.607	10
4 Santander	5.572	24.732	7	6.245	27.099	8	6.87	29.809	8
5 Bolívar	2.972	26.744	11	2.992	27.444	11	3.291	30.188	11
6 Quindío	3.644	20.597	8	4.146	22.715	8	4.561	24.987	8
7 Cesar	2.818	13.241	6	3.341	14.119	7	3.675	15.531	7
8 Valle del Cauca	3.06	21.535	9	3.319	29	10	3.651	31.9	10
9 Otros	16.609	96.404	8	18.988	121.857	9	20.887	131.429	9
Total	69.837	490.226	9	76.897	544.933	10	84.587	596.814	10

Nota. Fuente Tomada del Ministerio de Agricultura 2018 (*Minagricultura, 2018*)

Tabla 2

Matriz de factores ponderados

Factor Crítico de Éxito	Peso	Calificaciones			Calificación ponderada		
		Tolima	Antioquia	Caldas	Tolima	Antioquia	Caldas
Cercanía de proveedores	0.40	7.50	8.00	6.50	3.00	3.20	2.60
Cercanía de mercados	0.30	8.00	8.50	7.70	2.40	2.55	2.31
Servicios públicos	0.15	4.00	8.00	8.50	0.60	1.20	1.28
Costo de insumo y materia prima	0.10	6.50	6.50	5.00	0.65	0.65	0.50
Incentivos gubernamentales	0.05	7.00	7.00	8.50	0.35	0.45	1.43
Total	1.00				7.00	8.05	7.11

Nota. Elaboración propia

Análisis de centro de gravedad

Para llevar a cabo la implementación de esta metodología fue necesario conocer aquellos municipios que presentaban la mayor producción de aguacate dentro de la región, en tanto son el punto de partida para la obtención de la materia prima (aguacate).

En la Tabla 3 se presentan los municipios de Antioquia que, a la fecha del estudio, producían las mayores cantidades de aguacate.

Tabla 3

Producción de aguacate por municipio

Municipio	Producción 2018(ton)	Municipio	Producción 2018(ton)
Urrao	53328.00	San Vicente	3180.00
Sonsón	20250.00	La Ceja	3007.30
Retiro	9560.00	Guarne	2619.00
Abejorral	9044.00	Rionegro	1650.00
Peñol	6420.00	Marinilla	1608.75
Santa bárbara	4110.00	Santuario	1122.00
Jericó	3190.00		

Nota. Adaptada de Agronet 2018 (*Agronet, 2018*).

Por otro lado, se asignaron los volúmenes de producto terminado a partir de una distribución porcentual, de acuerdo con la participación poblacional seleccionada en cada uno de los municipios del departamento (ver Tabla 3).

También, a partir de las coordenadas, se obtuvo que la ubicación de la planta productora de aceite de aguacate se debía instalar en el territorio del municipio de Angelópolis. Sin embargo, como se evidencia en el Tabla 3, la ubicación de la planta estaría considerablemente alejada de los principales municipios donde se encuentran los proveedores y los centros de distribución del producto; además de esto, se encuentra cerca del municipio de Urrao, debido al gran peso que tiene éste en el aspecto de producción de aguacate. Teniendo en cuenta estas consideraciones, se decidió omitir del análisis al municipio de Urrao, en búsqueda de una ubicación más cercana a cada uno de los proveedores y centros de distribución.

Tabla 4

Distribución final del volumen de materia prima por municipio

Materia Prima (Ton)			
358.16			
Municipio	Producción 2018(ton)	Porcentaje de participación	Asignación MP (ton)
Sonsón	20250	44.73%	160.2
El Retiro	9560	21.12%	75.63
Abejorral	9044	19.98%	71.55
El Peñol	6420	14.18%	50.79
TOTAL	45274	100.00%	358.16

Nota. Elaboración propia

Se asignaron los volúmenes de producto terminado a partir de una distribución porcentual, de acuerdo con la participación productiva en cada uno de los municipios del departamento, como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 5

Ubicación final óptima para la planta de producción

Municipio	Volumen	Coordenadas	Coordenadas X	Coordenadas Y
Sonsón	160,20	(5.711294, -75.319095)	5,711,294	-75,319,095
El Retiro	75,63	(6.057805, -75.511966)	6,057,805	-75,511,966
Abejorral	71,55	(5.791856, -75.422164)	5,791,856	-75,422,164
El Peñol	50,79	(6.218651, -75.239275)	6,218,651	-75,239,275
Medellín	93,99	(6.196337, -75.573749)	6,196,337	-75,573,749
Envigado	12,78	(6.175100, -75.592390)	6,175,100	-75,592,390
Sabaneta	4,97	(6.149345, -75.618080)	6,149,345	-75,618,080
La Ceja	2,66	(6.035215, -75.421090)	6,035,215	-75,421,090
Rionegro	4,33	(6.146814, -75.378159)	6,146,814	-75,378,159

Nota. Elaboración propia

De igual forma, se obtuvieron las coordenadas de cada uno de los departamentos, sin tener en cuenta a Urrao, y añadiendo a El Retiro. Con ello, se realizó nuevamente el análisis operativo de centro de gravedad para conocer la nueva ubicación de la planta de producción.

Figura 1

Ubicación final representada en el mapa



Nota.

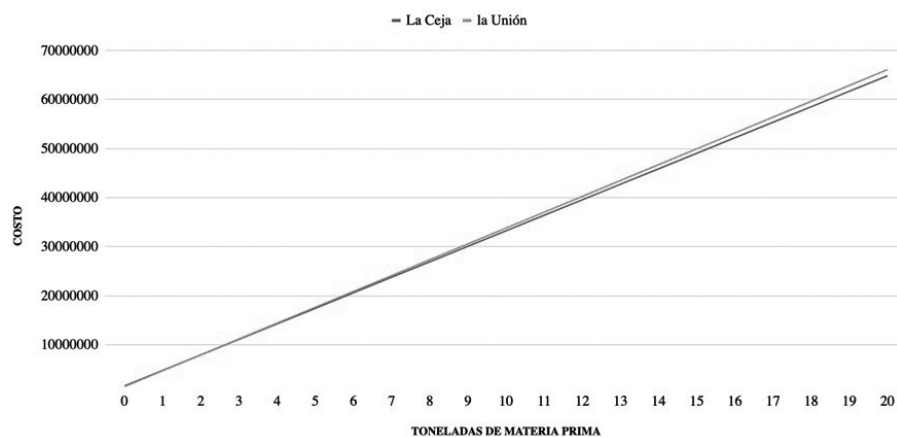
Tomada de [Indicaciones de Google Maps para la ubicación 5.95070376, -75.4183771, La Ceja, Antioquia, Colombia]. (01 de agosto de 2020). Google Maps, 2020.

Finalmente, a partir del análisis se obtuvo una ubicación más adecuada, situada entre los municipios de La Ceja y La Unión, por lo que se definió la ubicación definitiva a partir del análisis de punto de equilibrio (Figura 1).

Análisis de punto de equilibrio

A partir de esta metodología fue posible determinar en qué municipio se debía instalar la planta de producción, teniendo en cuenta costos fijos y costos variables; elementos determinantes a la hora de tomar la decisión. La Tabla 4 se presenta el cálculo de cada uno de los costos considerados en esta metodología y en la Figura 2 la variación del costo respecto a las toneladas de materia prima obtenidas.

Figura 2
Gráfico de punto de equilibrio



Nota. Elaboración propia

A partir del análisis de los costos fijos y variables, complementando con la Figura 2, se determinó que el municipio óptimo para la ubicación de la planta era La Ceja, debido a que, a mayor cantidad de materia prima requerida, los costos son menores, con respecto a La Unión; esto, principalmente, por el factor de la distancia con los proveedores lo que incrementa los costos de transporte (Tabla 6).

Tabla 6
Costos fijos y variables kg/mes

Kilogramo por Mes	Costo	Total, Mes
29.847,00	\$ 2.500,00	\$ 74.617.292,00

Municipio/Mes	0	1	2	3	4	5
La Ceja (\$)	1627774,50	76906796,07	152185763,73	227464758,20	302743752,77	378022747,33
La Unión (\$)	1487109,43	76835637,60	152184165,76	227532693,93	302881222,10	378229750,26

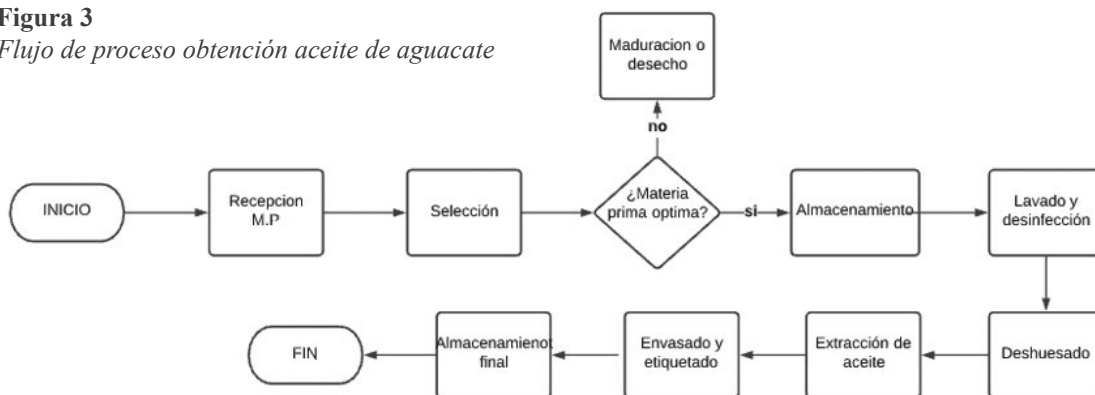
Nota. Elaboración propia

La planta requiere de 29.847 kg al mes, por lo que, a partir del análisis en el que se tuvieron en cuenta los costos fijos y variables, se evidenció una vez más que los costos generados en La Ceja tienden a ser más favorables que en La Unión, a largo plazo.

Flujo de proceso producción aceite de aguacate

Como se observa en la Figura 3, se desarrolló un diagrama de flujo como parte de la metodología del estudio del proceso, de manera que fuera posible comprender y entender, a rasgos generales, cada una de las etapas requeridas para la extracción de aceite de aguacate en el sistema productivo. Esta etapa fue crucial, en tanto permitió definir el proceso productivo y determinar la maquinaria principal y la tecnología necesaria para poner en marcha el proceso.

Figura 3
Flujo de proceso obtención aceite de aguacate



Nota. Elaboración propia

A continuación se describe de manera ordenada los pasos propuestos para la obtención del aceite de aguacate:

- **Recepción de materia prima:** los aguacates Hass son transportados desde los municipios donde se cultiva y son entregados en la planta de producción. Al llegar, los aguacates se someten a un control de calidad y se pesa la fruta.

- Selección materia prima: a partir del control de calidad que se realiza, se selecciona el aguacate que cumple con las características óptimas para continuar con el proceso de obtención de aceite de aguacate.
- Maduración o desecho: si el aguacate no está listo para continuar con el proceso, este permanece en unas gavetas perforadas, y así tendrá contacto con el ambiente, lo que le ayuda a acelerar su ciclo de vida.
- Almacenamiento: se destina el aguacate seleccionado a un cuarto especializado con el fin de que este conserve las características necesarias y no se vea afectado por posibles variaciones climáticas.
- Lavado y desinfección: los aguacates son transportados a través de una banda y pasan por unos aspersores de agua a alta presión que se encargan de quitar cualquier tipo de suciedad que pueda afectar la calidad.
- Deshuesado: los aguacates se disponen en la máquina deshuesadora, amasadora y descortezadora, en la cual se separa la pulpa de la cáscara y la pepa, mediante un molino. Luego de la separación esta es macerada y amasada.
- Extracción de aceite: la extracción de aceite se realiza a partir de un prensado en frío con temperaturas no superiores a los 50 °C, lo cual mantiene las características y los nutrientes del aguacate; posteriormente, se somete a un proceso en el cual se separa el agua, la masa y el aceite con un decantador centrífugo horizontal.
- Envasado y etiquetado: una vez obtenido el aceite, por el proceso de centrifugado, se dispone a ser envasado inmediatamente, ya que esto lo protege de factores que lo pueden afectar negativamente, como la luz y el oxígeno. De igual forma, el producto es etiquetado de acuerdo con los requerimientos establecidos por el INVIMA.
- Almacenamiento final: el producto es almacenado en una bodega para, posteriormente ser comercializado.

Selección de la maquinaria

La elección de la tecnología para el proceso producción de aceite de aguacate se realizó a partir de la ponderación de factores; allí se relacionó la capacidad productiva y estimada por año, así como las características físicas y estructurales que se adecuaban mejor al modelo de producción que se deseaba implementar. En la Tabla 7 se presentan los costos de las maquinarias seleccionadas.

Tabla 7
Selección de maquinaria

Factor Crítico de Éxito.	Peso	Deshuesado		Extracción de aceite		Envasado				Amasadora	
		Modelo 300-AVC	KAV 2	Decanter Euro X30	Decanter CBB Centrifugo	Serie DNS	Serie DNL	Serie DNR	Serie DCI	Gamma 80	DP 250 SA
Costo	0.10	60.00	40.00	50.00	70.00	70.00	50.00	20.00	40.00	45.00	30.00
Capacidad	0.40	70.00	80.00	90.00	40.00	30.00	70.00	75.00	20.00	80.00	65.00
Consumo	0.20	75.00	60.00	80.00	60.00	45.00	55.00	50.00	50.00	60.00	50.00
Dimensión	0.10	75.00	85.00	60.00	80.00	70.00	85.00	60.00	70.00	70.00	60.00
Tecnología	0.20	65.00	80.00	80.00	40.00	60.00	60.00	65.00	70.00	80.00	70.00
TOTAL	1.00	345.00	345.00	360.00	290.00	275.00	320.00	270.00	250.00	335.00	275.00
Factor Crítico de Éxito.	Peso	Calificación Ponderada									
Costo	0.10	6.00	4.00	5.00	7.00	7.00	5.00	2.00	4.00	4.50	3.00
Capacidad	0.40	28.00	32.00	36.00	16.00	12.00	28.00	30.00	8.00	32.00	26.00
Consumo	0.20	15.00	12.00	16.00	12.00	9.00	11.00	10.00	10.00	12.00	10.00
Dimensión	0.10	7.50	8.50	6.00	8.00	7.00	8.50	6.00	7.00	7.00	6.00
Tecnología	0.20	13.00	16.00	16.00	8.00	12.00	12.00	13.00	14.00	16.00	14.00
TOTAL	1.00	69.50	72.50	79.00	51.00	47.00	64.50	61.00	43.00	71.50	59.00

Nota. Elaboración propia

Distribución de planta

Luego de tener la maquinaria para cada una de las operaciones en el proceso, se realizó el análisis con el cual se obtuvo el área y la distribución necesaria en el proceso productivo de extracción de aceite de aguacate. Se llevó a cabo un análisis de las áreas o superficies que ocupaban las máquinas y zonas administrativas, y se definió la unidad de medición que se emplea para áreas y longitudes en Colombia.

Tabla 8

Cálculo área de maquinaria

Máquinas	n	N	Largo	Ancho	K	Ss	Sg	Se	Total
Deshuesadora	1.00	2.00	4.83	1.42	0.10	6.86	13.72	2.06	22.63
Lavadora	1.00	2.00	6.00	1.20	0.10	7.20	14.40	2.16	23.76
Extractor de aceite	1.00	2.00	1.60	0.45	0.10	0.72	1.44	0.22	2.38
Envasadora	1.00	2.00	3.10	1.20	0.10	3.72	7.44	1.12	12.28
Amasador	1.00	2.00	1.00	0.60	0.10	0.60	1.20	0.18	1.98
Etiquetadora	1.00	2.00	3.00	0.80	0.10	2.40	4.80	0.72	7.92
Cámara frigorífica	1.00	1.00	3.32	3.52	0.10	11.69	11.69	2.34	25.71
Tapadora	1.00	2.00	3.00	0.60	0.10	1.80	3.60	0.54	5.94
Banda	2.00	2.00	3.00	0.60	0.10	1.80	3.60	0.54	11.88
Tubo	2.00	0.00	2.00	0.30	0.10	0.60	0.00	0.06	1.32
								Total	115.80

Nota. Elaboración propia

Tabla 9

Cálculo área zonas administrativas

Áreas	n	Largo	Ancho	Ss
Recepción y selección MP	1.00	5.00	3.00	15.00
Almacenamiento	1.00	6.00	5.00	30.00
Almacén PT	1.00	8.00	5.00	40.00
Oficina	1.00	8.00	5.00	40.00
Baño	1.00	3.00	3.00	9.00
			Total	134.0

Así las cosas, el área para las zonas de recepción y selección de materia prima, almacenamiento, producto terminado, oficina y baño se obtuvieron a partir de la información recolectada en el estudio de mercado, con el cual fue posible obtener la cantidad de materia prima necesaria para efectuar el proceso y la capacidad productiva de la planta, por lo que estas áreas fueron designadas para suplir las necesidades y el espacio requerido por la materia prima y el producto terminado.

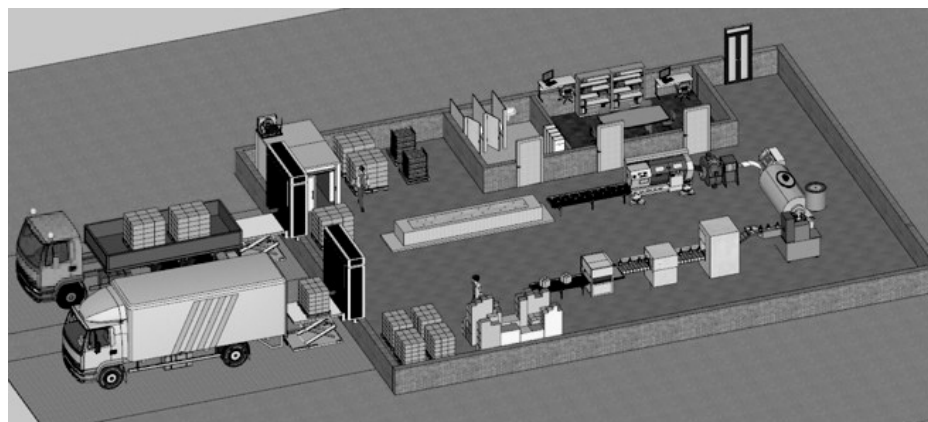
Con la superficie y el área total definida, se procedió a delimitar la distribución de la maquinaria dentro de la planta, utilizada para llevar a cabo el proceso de extracción de aceite de aguacate. Para esto, se tuvo en cuenta el diagrama de proceso, la maquinaria anteriormente descrita y la superficie requerida para determinar una

posible y óptima distribución. Dentro de este proceso se desarrolló una distribución enfocada en el producto, debido a la naturaleza de este, y a que su demanda puede variar en el tiempo. A partir del análisis de estos factores se optó por realizar una distribución de la línea de proceso en U, la cual permitió una interacción más amplia de los operarios encargados del proceso y las diferentes etapas de este; además, se tuvieron en cuenta las diferentes áreas de producción y administrativas, para un total de 249,8.

De otro lado, para la realización de los planos y el diseño de las áreas se llevó a cabo un diseño 2D y 3D de la planta, utilizando la aplicación *Sketchup*, por medio de la cual se realizó un diseño a escala del proceso y la distribución que fue elegida para este, tal y como se muestra en la Figura 4.

Figura 4

Visía lateral 3D plano de planta.



Nota. Elaboración propia

Finalmente, se efectuó la incorporación de la maquinaria, equipo y herramientas en el plano; además, el área teórica de 250 se decidió ampliar a aproximadamente 300, con el fin de garantizar una mayor flexibilidad en cada una de las etapas de la planta y disminuir la limitación espacial o de movimientos que se puedan presentar en las diferentes etapas del proceso. En este orden, se obtuvo un diseño a escala de lo que sería la planta de producción de aceite de aguacate ubicada en el departamento de Antioquia, Colombia, más exactamente en el municipio de La Ceja.

Conclusiones

Colombia presenta una gran biodiversidad cultural, ambiental y social, pero lamentablemente no es un país que obtenga provecho de todas esas condiciones, ya que el principal uso que se da a materias primas como el aguacate es la exportación, a partir de la cual se generan ingresos que aportan a la economía del país, pero el verdadero aprovechamiento de estos productos se da en países del exterior, por lo cual allí se presenta un aspecto de reflexión y búsqueda de oportunidades para generar diferentes productos a partir de estas materias primas.

Mediante la implementación de cada una de las metodologías, aplicadas en el desarrollo de este estudio, es posible determinar a partir de herramientas matemáticas la mejor ubicación para establecer una empresa o una planta de producción, desde una perspectiva global, al momento de determinar el país, hasta una perspectiva nacional para determinar la ubicación óptima dentro de un departamento o

municipio, y de esta manera generar aprovechamiento a cualquier tipo de producto. Para llevar a cabo este tipo de análisis es importante la obtención de información detallada, con el fin de realizar un análisis lo más preciso posible y tener en cuenta los factores principales que pueden influir considerablemente dentro de la planta de producción.

De esta manera, fue posible determinar, mediante el estudio de centro de gravedad, que la ubicación óptima inicial para la planta era en Angelópolis-Antioquia, pero teniendo en cuenta el gran peso generado por Urrao en el análisis, y evidenciando la lejanía de la planta de la mayoría de proveedores y centros de distribución, se realizó nuevamente el estudio dejando a Urrao y teniendo en cuenta a El Retiro, con lo cual se obtuvo una ubicación más central, entre los municipios de La Ceja y La Unión. Para determinar en cuál de estos municipios se debía instalar la planta, se recurrió a la metodología de punto de equilibrio, teniendo en cuenta condiciones fundamentales de cada uno sobre costos fijos y costos variables, y de esta manera se determinó que la mejor ubicación para la planta de producción de aceite de aguacate es en el municipio de La Ceja.

De igual manera, mediante la implementación de metodologías matemáticas fue posible determinar temas fundamentales para la instalación de una planta de producción, independientemente de su índole, tales como la maquinaria que presenta condiciones óptimas para un buen desarrollo de cada una de las etapas del proceso, sin incurrir en gastos innecesarios a la hora de tener en cuenta temas como

la capacidad productiva o el consumo energético, o sin afectar la productividad del proceso. Finalmente, se realizó el análisis de distribución en planta a partir de las especificaciones de las máquinas y se obtuvo un plano en 2 y 3 dimensiones (2D y 3D), con el fin de poder mostrar un bosquejo de la distribución en planta y tener una idea de ésta.

Mediante este análisis se pudo evidenciar que Antioquia, con una calificación ponderada de 82.5, versus los departamentos de Tolima y Caldas, con calificaciones de 67.75 y 67.4, respectivamente, obtuvo un mayor puntaje; esto se explica, en parte, porque el departamento cuenta con mejores condiciones, en aspectos como servicios públicos y la cercanía al mercado potencial. Sumado a esto, el departamento cuenta con una infraestructura vial, hacia los proveedores, con mejores condiciones y los incentivos gubernamentales han incrementado en los últimos años, promoviendo y apoyando a los negocios e industrias relacionados con el aguacate.

Referencias bibliográficas

- Agricultura, F. O. de las N. U. para la A. y la. (2021.). *FAOSTAT*. Retrieved July 28, 2022, from <https://www.fao.org/faostat/en/#home>
- Acoŝta, M. (2011). *Evaluaci3n y escalamiento del proceso de extracci3n de aceite de aguacate utilizando tratamiento enzimático* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/7633/marthaceciliaacoŝtamoreno.2011.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Agronet. (2018). *Reporte: Área, Producci3n y Rendimiento Nacional por Cultivo*. <https://www.agronet.gov.co/estadística/paginas/home.aspx?cod=1>
- Buelvas Salgado, G. A., Patiño Gómez, J. H., & Cano-Salazar, J. A. (2012). Evaluation of the oil extraction from has avocado (Persea Americana Mill) by the use of an enzymatic treatment [Evaluaci3n de la extracci3n de aceite de aguacate has (Persea Americana Mill) mediante el uso de un
-

- tratamiento enzimático]. *Revista Lasallista de Investigación*, 9(2), 138-150. <http://www.scielo.org.co/pdf/rlsi/v9n2/v9n2a15.pdf>
- El Universal. (2019). WAC 2019: El mundo del aguacate en Medellín. *El Universal*. <https://www.eluniversal.com.co/economica/wac-2019-el-mundo-del-aguacate-en-medellin-NC1774539>
- Farinango Chicaiza, G. (2016). *Elaboración de salchicha tipo Frankfurt mediante la sustitución de grasa animal por pulpa de aguacate* [Trabajo de grado de pregrado, Universidad Técnica del Norte]. <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/5317/2/03%20EIA%20404%20ARTICULO.pdf>
- Google Maps. (2020). Mapa del Oriente Antioqueño. Recuperado el 21 de mayo de 2020 de <https://goo.gl/maps/mxDspdP1DNjLVtJB8>
- Heizer, J., & Render, B. (2004). *Principios de Administración de Operaciones*. Pearson Educación
- Loaiza, P., & López, E. (2015). *Elaboración de una salsa a base de la pulpa de aguacate variedad Hass y su proyección a nivel industrial* [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica del Litoral]. <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/123456789/25161/TESIS%20LOPEZ-LOAIZA%20%20Salsa%20de%20Aguacate.%20Presentacion.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2018). *Cadena de Aguacate. Indicadores e Instrumentos*. <https://sioc.minagricultura.gov.co/Aguacate/Documentos/2019-09-30%20Cifras%20Sectoriales.pdf>
- Nieto, L., Camacho, F., Rodríguez, S., & Moreno, V. (1988). Extracción y caracterización del aceite de aguacate. *Grasas y Aceites*, 39, 272–277.
- Olaeta, J. (2008). Industrialización del aguacate: Estado actual y perspectivas futuras. *Actas V Congreso Mundial del Aguacate*, 749–754. http://www.avocadosource.com/wac5/papers/wac5_p749.pdf
- Restrepo, B., & Nieto, F. (2017). Extracción y caracterización de aceite de aguacate y desarrollo de cremas cosméticas humectante. *Citecsa*, 9(14), 28-48. <https://revistas.unipaz.edu.co/index.php/revcitecsa/article/view/224/215>
-

- Riveros, Y., & Leal, L. (2016). *Proyecto de pre inversión para la creación de una planta productora y comercializadora de aceite de aguacate gourmet en la ciudad de Villavicencio* [Trabajo de grado de pregrado, Universidad de los Llanos]. <https://repositorio.unillanos.edu.co/bitstream/handle/001/520/2.4.INFORME%20FINAL%20ACECATE.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Serpa, A., Echeverri, A., Lezcano, M., Vélez, L., Ríos, A., & Hincapié, H. (julio-diciembre, 2014). Extracción de aceite de aguacate variedad 'Hass' (*Persea Americana Mill*) liofilizado por prensado en frío. *Revista Investigaciones Aplicadas*, 8(2), 113-123. <https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/6805/EXTRACCI%c3%93N%20DE%20ACEITE%20DE%20AGUACATE%20VARIEDAD.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Silva, V., Sánchez, A., & Maluk, O. (2019). *Estudio de factibilidad, producción y comercialización del aguacate y sus derivados* [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica del Litoral]. <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/7233/1/Estudio%20de%20Factibilidad%20C%20producci%C3%B3n%20y%20comercializaci%C3%B3n%20del%20aguacate%20y%20sus%20derivados.pdf>
- Yepes, D., Sánchez, L., & Márquez, C. (2017). Extracción termomecánica y caracterización fisicoquímica del aceite de aguacate (*Persea americana Mill. cv. Hass*). *Informador Técnico*, 81(1), 75–85. <https://doi.org/10.23850/22565035.728>
-