

**PROPUESTA DE UN MODELO PARA LA LOCALIZACIÓN DE UNA LINEA DE
EMPAQUE DE AGUACATE HASS EN LA REGIÓN NORTE DEL VALLE DEL
CAUCA**

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

ESTUDIANTES:

RAMÍREZ CARVAJAL JORGE IVÁN – 201558152

GARCÍA GARCÍA NELSON ANDRES - 201558013

UNIVERSIDAD DEL VALLE

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

ZARZAL VALLE DEL CAUCA COLOMBIA

2021

**PROPUESTA DE UN MODELO PARA LA LOCALIZACIÓN DE UNA LINEA DE
EMPAQUE DE AGUACATE HASS EN LA REGIÓN NORTE DEL VALLE DEL
CAUCA**

ESTUDIANTES:

RAMÍREZ CARVAJAL JORGE IVÁN – 201558152

GARCÍA GARCÍA NELSON ANDRES - 201558013

DIRECTORA:

MSc. VIVIAN LORENA CHUD PANTOJA

UNIVERSIDAD DEL VALLE

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

ZARZAL VALLE DEL CAUCA COLOMBIA

2021

CONTENIDO

RESUMEN	7
ABSTRACT.....	7
1 INTRODUCCIÓN	8
2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
2.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	9
3 JUSTIFICACIÓN	9
4 OBJETIVOS	11
4.1 OBJETIVO GENERAL	11
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	11
5 MARCO CONCEPTUAL	11
5.1 LOCALIZACIÓN DE INSTALACIONES	11
5.2 CARACTERIZACIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTRO DEL AGUACATE HASS 11	
5.3 CADENA PRODUCTIVA DEL AGUACATE HASS	12
5.4 MÉTODOS PARA LA LOCALIZACIÓN DE INSTALACIONES.....	14
6 DESARROLLO METODOLÓGICO.....	15
6.1 FASE 1: DEFINICIÓN DE CRITERIOS	16
6.1.1 Criterio de cercanía (CC1).....	16
6.1.2 Criterio geográfico (CG2).....	16
6.1.3 Criterio económico (CE3).....	16
6.1.4 Criterio social (CS4)	16
6.2 FASE 2: DEFINICIÓN DE SUB-CRITERIOS	16
6.2.1 Cercanía a corredor logístico (SCC1).....	16
6.2.2 Cercanía a proveedores (SCC2).....	16
6.2.3 Tipo de suelo (SCG1)	16
6.2.4 Tipo de clima (SCG2).....	17
6.2.5 Costos logísticos de operación (SCE1).....	17
6.2.6 Costos del terreno (SCE2)	17
6.2.7 Cultura (SCS1).....	17
6.2.8 Educación (SCS2).....	17
6.3 FASE 3: DEFINICIÓN DE ALTERNATIVAS	17
6.3.1 Definición de alternativas – Criterio Cercanía [CC1].....	17
6.3.2 Definición de alternativas – Criterio Geográfico [CG2].....	18

6.3.3	Definición de alternativas – Criterio Económico [CE3].....	18
6.3.4	Definición de alternativas – Criterio Social [CS4]	19
6.4	FASE 4: APLICACIÓN AHP.....	20
6.4.1	Árbol de jerarquía:	21
6.4.2	Desarrollo del modelo:.....	21
7	RESULTADOS.....	23
7.1	DEFINICIÓN DE LA EMPRESA CASO DE ESTUDIO.....	23
7.1.1	Proceso de la cadena productiva del aguacate en la empresa caso de estudio.....	24
7.1.2	Diagrama de flujo de procesos Laurentina Farmer House S.A.S	25
7.1.3	Descripción de los procesos Laurentina Farmer House S.A.S	26
7.2	RESULTADOS AHP.....	28
8	CONCLUSIONES	38
9	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	39
10	ANEXOS	43

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Caracterización de la CS del aguacate Hass	12
Ilustración 2. Esquema de la cadena productiva agrícola	13
Ilustración 3. Cadena productiva del aguacate Hass.....	13
Ilustración 4. Composición de la organización de la cadena productiva del aguacate Hass	14
Ilustración 5. Metodología para la localización de una instalación de empaque.....	15
Ilustración 6. Árbol de jerarquía	21
Ilustración 7. Diagrama de flujo de procesos de la empresa Laurentina Farmer House S.A.S	25
Ilustración 8. Escala de Saaty	28

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Revisión de la literatura	14
Tabla 2. Definición de alternativas – [CC1]	17
Tabla 3. Definición de alternativas – [CG2]	18
Tabla 4. Definición de alternativas – [CE3]	19
Tabla 5. Definición de alternativas – [CS4].....	20
Tabla 6. Expertos en el sector de la cadena de aguacate Hass.....	28
Tabla 7. Valoración final experto #1	28
Tabla 8. Indicadores experto #1	29
Tabla 9. Comparación de criterios experto #1	29
Tabla 10. Comparación de subcriterios experto #1	29
Tabla 11. Valoración final experto #2	29
Tabla 12. Indicadores experto #2.....	30
Tabla 13. Comparación de criterios experto #2	30
Tabla 14. Comparación de subcriterios experto #2	30
Tabla 15. Valoración final experto #3	30
Tabla 16. Indicadores experto #3.....	31
Tabla 17. Comparación de criterios experto #3	31
Tabla 18. Comparación de subcriterios experto #3	31
Tabla 19. Valoración final experto #4	31
Tabla 20. Indicadores experto #4.....	32
Tabla 21. Comparación de criterios experto #4	32
Tabla 22. Comparación de subcriterios experto #4	32
Tabla 23. Valoración final experto #5	32
Tabla 24. Indicadores experto #5.....	33
Tabla 25. Comparación de criterios experto #5	33
Tabla 26. Comparación de subcriterios experto #5	33
Tabla 27. Valoración final experto #6	33
Tabla 28. Indicadores experto #6.....	34
Tabla 29. Comparación de criterios experto #6	34
Tabla 30. Comparación de subcriterios experto #6	34
Tabla 31. Valoración final modelo AHP consolidado	34
Tabla 32. Indicadores modelo AHP consolidado	35
Tabla 33. Comparación de criterios modelo AHP consolidado.....	35
Tabla 34. Comparación subcriterios modelo AHP consolidado	35
Tabla 35. Análisis de sensibilidad - Escenario 1	36
Tabla 36. Análisis de sensibilidad - Escenario 2	36
Tabla 37. Análisis de sensibilidad - Escenario 3	37
Tabla 38. Análisis de sensibilidad - Escenario 4	37
Tabla 39. Resumen de los escenarios del análisis de sensibilidad.....	37

RESUMEN

Este trabajo presenta una metodología multicriterio AHP para la localización de una planta de empaque de aguacate Hass. Inicialmente se hace una revisión de la literatura para analizar problemas similares en lo conceptual y realizar la definición de criterios y subcriterios que son claves para el desarrollo metodológico de esta investigación; el objetivo principal de este documento es encontrar una solución para el problema de localización de instalaciones de una línea de empaque de aguacate Hass en la región norte del Valle del Cauca. La metodología consiste en definir un conjunto de características destacadas de carácter cuantitativo y cualitativo para la decisión de localizar la línea de empaque. Este modelo genera soluciones a partir del análisis jerárquico de datos que se organizan en una estructura similar a un diagrama de árbol comparando las decisiones que plantea su estructura en diferentes aspectos. Estas soluciones son evaluadas por un modelo de decisión multicriterio que admite estimaciones cualitativas al problema, que son impensables de representación algebraica. De esta forma, la aplicación del modelo de análisis de decisión multicriterio calcula un conjunto de soluciones factibles para escoger la mejor de las alternativas considerando diversos atributos o distintivos. Finalmente, se realiza un análisis de sensibilidad donde se dan ponderaciones a los criterios, diferentes a las que dan los expertos en la encuesta realizada para poder realizar el modelo multicriterio, con el objetivo de analizar cómo fluctúa la solución.

Palabras Claves: Aguacate Hass, línea de empaque, localización de instalaciones, análisis multicriterio, Proceso jerárquico analítico.

ABSTRACT

This paper presents a multi-criteria AHP methodology for the location of a Hass avocado packaging plant. A review of the literature is initially conducted to analyze similar conceptual problems and to define criteria and sub-criteria that are key to the methodological development of this research; the main objective of this document is to find a solution for the problem of locating installations of a Hass avocado packaging line in the north Cauca Valle region. The methodology consists of defining a set of outstanding quantitative and qualitative characteristics for the decision to locate the packaging line. This model generates solutions from the hierarchical analysis of data that are organized in a structure similar to a tree diagram by comparing the decisions posed by its structure in different aspects. These solutions are evaluated by a multi-criteria decision model that admits qualitative estimates to the problem, which are unthinkable of algebraic representation. In this way, the application of the multi-criteria decision analysis model calculates a set of feasible solutions to choose the best of the alternatives considering various attributes or distinctions. Finally, a sensitivity analysis is performed where weights are given to the criteria, different from those given by the experts in the survey carried out to be able to carry out the multicriterio model, with the objective of analyzing how the solution fluctuates.

Keywords: Hass avocado, packaging line, facility location, multi-criteria analysis, hierarchical Process Analytic.

1 INTRODUCCIÓN

De acuerdo con el Ministerio de Agricultura (2018) las importaciones de aguacate han disminuido en un 96% pasando de 3.128 toneladas en el 2014 a 133 toneladas en el 2017, en contraste las exportaciones se han incrementado exponencialmente en el mismo periodo de tiempo pasando de 1.760 toneladas en 2014 a 28.487 en 2017. Conforme a las cifras de Mincomercio (2019), se estima que en Colombia existen alrededor de 13.000 productores en 18.113 unidades productivas que tienen como principal actividad económica el cultivo de aguacate. Además, hay alrededor de 54.000 personas en el país, involucradas en forma directa e indirecta en los diferentes eslabones de la cadena productiva del fruto. Colombia Productiva (2019) afirma que la admisibilidad que otorgó Japón al aguacate Hass colombiano, y la reciente firma del acuerdo que establece los requisitos de exportación de aguacate Hass a China, hacen parte de una serie de estrategias implementadas por el Gobierno Nacional para que el fruto colombiano se posicione en el mercado internacional. Según cifras del DANE, con análisis de Procolombia (2021), las exportaciones de aguacate se han casi que duplicado en el primer trimestre del año. Mientras que entre enero y marzo de 2020 se vendieron 33,6 millones de dólares, en ese mismo periodo de 2021 fueron 64,2 millones de dólares. Por este motivo, realizar estudios relacionados con el proceso de exportación de aguacate, especialmente en la localización de líneas de empaque de exportación, representa un aporte importante para este sector y para la competitividad del país.

Este trabajo de investigación presenta una metodología multicriterio AHP basada en el análisis de la comparación de ponderaciones de criterios, subcriterios y alternativas realizadas por expertos, con el fin de encontrar una solución para el problema de localización de instalaciones de una línea de empaque de aguacate Hass. La metodología consiste en definir un conjunto de características destacadas de carácter cuantitativo y cualitativo para la decisión de localizar líneas de empaque. Este modelo matemático genera soluciones a partir del análisis jerárquico de datos que se organizan en una estructura similar a un diagrama de árbol comparando las decisiones que plantea su estructura en diferentes aspectos. Las soluciones son evaluadas por un modelo de decisión multicriterio que admite estimaciones cualitativas al problema, que son impensables de representación algebraica. Finalmente, la aplicación del modelo de análisis de decisión multicriterio calcula un conjunto de soluciones factibles para escoger la mejor de las alternativas considerando diversos atributos o distintivos.

A continuación, esta investigación se enfoca en otorgar una solución a un problema de localización de instalaciones para una línea de empaque de aguacate Hass en la región norte del Valle del Cauca, considerando que actualmente la empresa caso de estudio está creciendo en el mercado y por consiguiente van a pasar de tercerizar el proceso de exportación a hacerlo propio, para dar solución a esta problemática se tendrá a consideración una herramienta multicriterio AHP, donde a partir de una fuente de información de la empresa caso de estudio se tomará la base para realizar la definición de criterios y subcriterios, luego se realizará una revisión en la literatura para la definición de las alternativas, todo lo dicho anteriormente quedará en una encuesta que un grupo de expertos va calificar conforme a la escala de Saaty, luego de recopilar los datos el modelo arrojará un ranking de las alternativas de localización de instalaciones, con base en las ponderaciones realizadas por los expertos en cada una de las definiciones, finalmente se realiza una análisis de sensibilidad para obtener los resultados finales.

2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Según (Meng et al., 2009) el problema es aquel en el que se deben seleccionar p instalaciones para minimizar las distancias totales (ponderadas) o los costos para abastecer al cliente. Para Viñuales (2015) en líneas generales, se basa en reducir una decisión compleja a una serie de comparaciones por parejas y sintetizar dichos resultados, incorporando así los aspectos tanto objetivos como subjetivos en la decisión. Además, este método ofrece una herramienta para comprobar la consistencia de las evaluaciones del usuario como forma de eliminar la parcialidad de éste en el proceso.

Por otra parte (Sanabria et al., 2017) aporta que el problema de localización de instalaciones en cadenas de suministros de productos agrícolas perecederos no ha sido suficientemente estudiado, sin embargo, el tema en los últimos años ha tomado interés debido a la preocupación por el consumo de alimentos frescos y saludables, aspecto relevante en países con potencial productor en alimentos hortofrutícolas. A continuación se presenta un trabajo de investigación el cual dispone una propuesta de localización de instalaciones para una empresa de la región norte-vallecaucana dedicada a la siembra, recolecta y distribución de aguacate Hass, la empresa caso de estudio actualmente terceriza el proceso de exportación pues en el presente cumple con todas las certificaciones para exportar, pero no se encuentra aún con su propia planta de tratamiento de aguacate Hass, por ese motivo no desarrolla al máximo el potencial que requiere como empresa, de esta manera esta investigación busca desarrollar una propuesta de modelo de toma de decisión multicriterio que tenga en cuenta todos los factores necesarios para seleccionar la correcta ubicación de la línea de empaque.

2.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Teniendo en cuenta lo anterior nace una pregunta puntual que va ser punto de partida para esta investigación.

¿Dónde sería la mejor ubicación de una línea de empaque de aguacate Hass en la región norte del Valle del Cauca, conforme a los criterios del modelo multicriterio AHP?

3 JUSTIFICACIÓN

En una planta agroindustrial, para Ordoñez (2013) la localización es una de las decisiones más importantes dentro de un proyecto de inversión, esta debe estar enmarcada en criterios objetivos que permitan obtener la mejor relación beneficio costo para el proyecto; la nueva ubicación conlleva conocer los aspectos sociales y económicos de la región, ya que esto permite identificar las variables que tienen mayor peso en el proyecto y así seleccionar la mejor técnica para determinar la ubicación final de la planta agro industrial. Según García (2006) las decisiones de localización son de carácter estratégico y deben de obedecer a una variedad de criterios que garanticen la sostenibilidad de la empresa en el mercado. En segundo lugar, son decisiones que afectan a la capacidad competitiva de la empresa; así, una buena elección favorecerá el desarrollo de las operaciones de forma eficiente y competitiva, mientras que una incorrecta impondrá considerables limitaciones a las mismas. La empresa Laurentina Farmer House SAS actualmente

terceriza el proceso de exportación, por ende, quiere pasar de tercerizar el proceso de exportación a hacerlo propio, por lo cual, requiere de una nueva ubicación de sus instalaciones, para esto se desarrollará un modelo multicriterio AHP que permita tomar la decisión de la localización de la instalación considerando los criterios y subcriterios pertinentes.

El objetivo principal de este proyecto es encontrar una nueva ubicación para la línea de empaque de aguacate Hass, para realizar un análisis más concreto se van a elegir criterios que posteriormente serán evaluados por un grupo de expertos con el fin de determinar cuál es la mejor ubicación para la línea de empaque. El concepto de localización de una planta industrial, conforme a lo dicho por (Bacalla et al., 2014) se refiere a la ubicación de una nueva unidad productora, de tal manera que se logre la máxima rentabilidad del proyecto o el mínimo de los costos unitarios. La localización de las instalaciones de una empresa tiene impacto significativo en los costos de operación de la compañía, los precios que ésta cobra por los productos y servicios y la capacidad que tiene para competir en el mercado y penetrar en nuevos segmentos de clientes. A menudo se ve la necesidad de implementar la mejor ubicación, para que genere impactos positivos para la empresa y sea una decisión estratégica que impulse a la empresa hacia el horizonte deseado.

La construcción de una línea de empaque de aguacate Hass en la región norte-vallecaucana, el proceso de la línea es el siguiente: sale el producto de la finca, se lleva a la línea de empaque, allí lo descargan y pasa a temperatura ambiente, a una temperatura controlada de 18 grados centígrados, allí lo depositan por canastilla de 20 kilos y sigue la secuencia de la línea de empaque para su clasificación, se clasifica por calibres y luego hay personas que clasifican el aguacate que no pasa calidad, por ejemplo el que tenga golpes mecánicos, o este pasado de maduración, que tenga cualquier tipo de daño que por inocuidad no pase, luego pasa el aguacate a unas canastillas donde lo limpian, y lo distribuyen en cajas de cartón según su calibre y en estibas plásticas para su debido proceso de conservación a una temperatura aún más baja para que dure más, luego lo depositan en los cuartos y allí se deja un tiempo hasta que llegue el camión con su contenedor a temperatura controlada igual, y ya se le deposita en el camión con su respectiva cinta de seguridad hasta que llega al puerto según sea su negociación el proceso continúa o se deja hasta ahí, por ende la construcción de una línea de empaque que sea propia de la empresa en esta región beneficia a las personas por medio del trabajo, puede abarcar también más mercados considerando los factores necesarios de ubicación donde esté la materia prima, la cual generaría al municipio un impacto positivo para el comercio, por el reconocimiento de una línea de empaque de aguacate Hass en el sector, además, en un sector muy regido por los mercados campesinos es una alternativa muy viable para el desarrollo de la región. El proceso de exportación, lo realiza una filial externa que culmina con las labores de recolección, selección y empaque del aguacate Hass para exportar. Considerando además que el volumen de producción esperado es alto nace la idea de este proyecto que tiene como finalidad, establecer una propuesta de localización para una línea de empaque de aguacate Hass, por ende, mediante un modelo multicriterio AHP se va a determinar la mejor alternativa para la ubicación de la instalación de la línea de empaque de aguacate Hass, se va a requerir de la colaboración de un grupo de expertos que van a dar unas calificaciones conforme a la escala de Saaty a unas matrices de comparación de criterios, subcriterios y alternativas por medio de una encuesta realizada de forma individual, con la cual se obtienen los datos para posteriormente mediante la media geométrica tener los resultados de esta problemática, cabe resaltar que el modelo AHP no es la única forma de solucionar el problema pues en la literatura se verá más adelante que la mayoría de los autores utiliza un modelo matemático para la resolución

4 OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Establecer una propuesta de localización de plantas agroindustriales para una línea de empaque de aguacate Hass en el norte del Valle del Cauca.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar los criterios importantes en la localización de una línea de empaque de aguacate Hass.
- Formular una herramienta multicriterio AHP que permita elegir una alternativa al problema de localización de instalaciones.
- Aplicar el modelo multicriterio para tomar la decisión de localización de la planta de línea de empaque para el norte del Valle del Cauca.

5 MARCO CONCEPTUAL

5.1 LOCALIZACIÓN DE INSTALACIONES

Según Carro & González (2004) la localización de una instalación es el proceso de elegir un lugar geográfico entre varios para realizar las operaciones de una empresa. Los gerentes de organizaciones de servicios o de empresas manufactureras tienen que sopesar muchos factores cuando evalúan la conveniencia de un sitio en particular. El propio término globalización describe un despliegue de instalaciones y operaciones de las empresas alrededor del mundo.

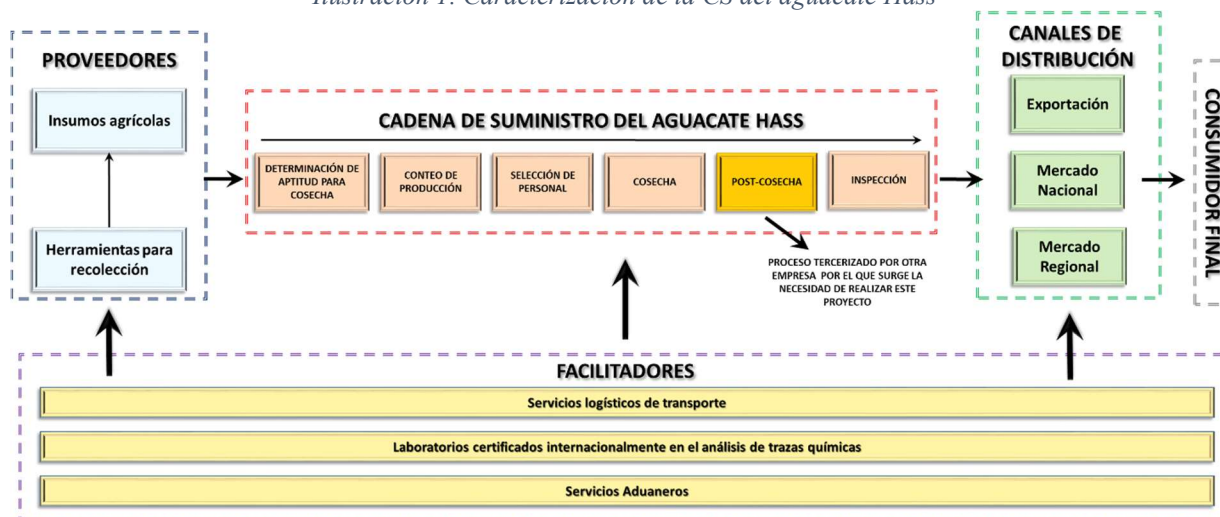
En una planta agroindustrial, dice Ordoñez (2013) la localización es una de las decisiones más importantes dentro de un proyecto de inversión, esta debe estar enmarcada en criterios objetivos que permitan obtener la mejor relación beneficio costo para el proyecto; la nueva ubicación conlleva conocer los aspectos sociales y económicos de la región, ya que esto permite identificar las variables que tienen mayor peso en el proyecto y así seleccionar la mejor técnica para determinar la ubicación final de la planta agroindustrial.

5.2 CARACTERIZACIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTRO DEL AGUACATE HASS

La cadena de suministro del aguacate Hass representada en la *Ilustración 1* muestra los diferentes eslabones, empezando por sus proveedores, en la actividad de recolección se utilizan unas topas especiales que cuentan con unos bolsillos individuales para colocar el fruto recogido y así evitar fricciones y deterioro del mismo, también están los proveedores de diferentes insumos agrícolas que se le aplican al aguacate desde el cultivo para evitar cualquier tipo de plagas y el procloraz el cual es un fungicida para controlar la pudrición de la fruta, es utilizado en la planta de

procesamiento para limpiar el producto y poder apilarlo en canastillas, luego se representan cada uno de los procesos.

Ilustración 1. Caracterización de la CS del aguacate Hass



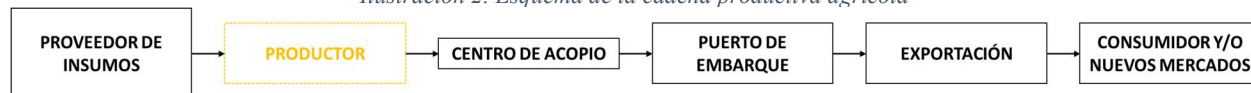
Fuente: Autores

La determinación de la aceptación de la cosecha, establece si el terreno cumple con los dos años para que se decreta apto para la cosecha, luego de realizar la determinación se realiza el conteo de la producción; por surcos, este conteo se realiza de una forma muy sencilla se coge un árbol al azar por cada línea y se cuentan cuántos aguacates tiene, con este dato se saca un promedio por cada surco y un promedio global con el promedio de cada uno de los surcos. La selección del personal se realiza conforme a la cosecha de ser necesario se contratan más trabajadores y se empieza a recoger la cosecha con la ayuda de topas y tijeras, en este punto es donde entra el proceso tercerizado de la línea de empaque donde lo llevan hasta una planta y lo sumergen en procloraz, lo empiezan a apilar en canastillas y lo dejan listo para ser exportado, finalmente se lleva hasta un lugar donde es almacenado con la ayuda de un vigía de la empresa que vela por colocar un código en cada una de las canastillas para evitar pérdidas, en la parte inferior de la ilustración se muestran los facilitadores, como lo son las turbos que contratan para transportar la cosecha, los laboratorios que hacen los análisis de trazas químicas y los servicios aduaneros.

5.3 CADENA PRODUCTIVA DEL AGUACATE HASS

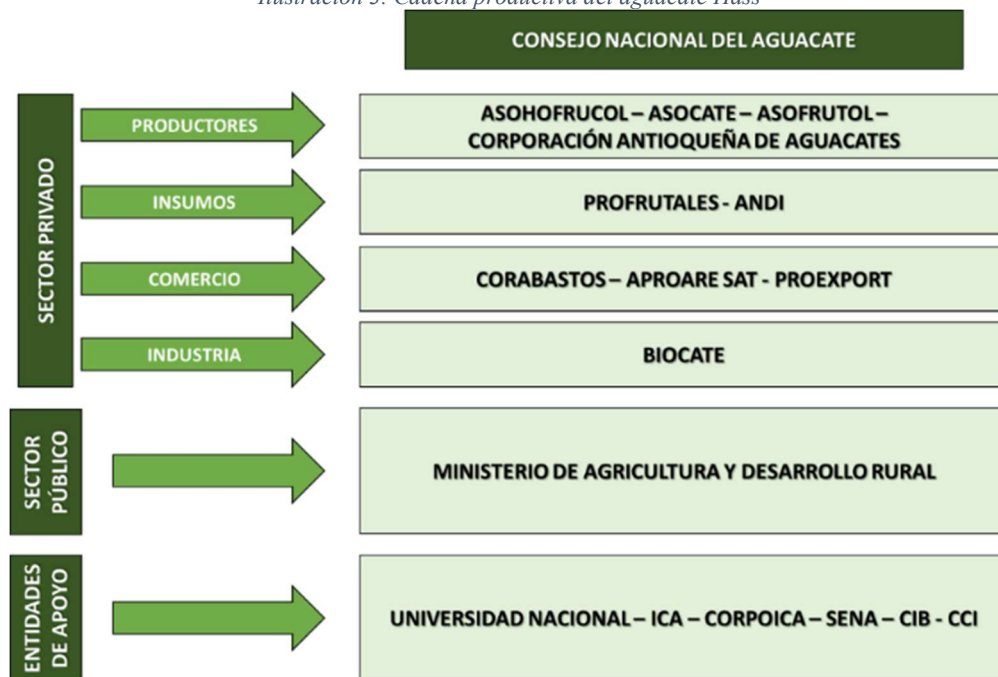
El esquema de la cadena productiva agrícola desglosa múltiples eslabones que van desde el proveedor de insumos hasta el consumidor final, teniendo en cuenta la *Ilustración 2* se da una mejor perspectiva de la forma en que se alimentan proporcionalmente cada uno de los eslabones. La empresa caso de estudio viene siendo el productor que se alimenta directamente de sus proveedores de diferentes venenos para combatir plagas, costales especiales para recoger la cosecha, entre otros, la parte del centro de acopio y el transporte del producto es la que se terceriza actualmente y es la fase que se quiere hacer propia de la empresa para incurrir en los menores costos posibles de transporte, siendo el objetivo principal de este proyecto de investigación, el puerto de embarque es donde llega el camión con las toneladas de aguacate Hass para ser exportado hacia su destino donde lo esperan nuevos mercados y los consumidores finales.

Ilustración 2. Esquema de la cadena productiva agrícola



Fuente: Autores

Ilustración 3. Cadena productiva del aguacate Hass



Fuente: (Bareño, 2014)

La cadena productiva del aguacate Hass cuenta con tres grupos: sector privado, sector público y entidades de apoyo, estos a su vez conforman el Consejo Nacional del Aguacate *Ilustración 3*. Según Bareño (2014) el Consejo Nacional del Aguacate busca promover el mejoramiento de la competitividad y la sostenibilidad del subsector del aguacate en Colombia y servir como órgano consultivo del Gobierno Nacional en de políticas y programas para el desarrollo del subsector y ser un espacio de diálogo y concertación entre los diferentes eslabones de la cadena y el Gobierno.

Conforme a lo dicho por Cortés Rodríguez (2019) esta cadena se conforma por los productores, comercializadores, industrias de procesamiento, productores de material vegetal, proveedores de insumos, exportadores, universidades, centros de investigación e instituciones adscritas al Gobierno Nacional que acompañan el proceso como el Instituto Colombiano Agropecuario-ICA y el SENA.

El Ministerio de Agricultura (2020) actualizó la información de la cadena productiva del aguacate Hass la cual se muestra en la *Ilustración 4* con sus diferentes eslabones, en dicho documento también se tocan temas importantes acerca del aguacate tanto en Colombia como en el exterior, se habla de la caracterización de la cadena, área, producción y rendimiento Nacional y Departamental. Las principales zonas productoras entre las cuales se tiene a Antioquia como líder con un 23%, Valle del Cauca comparte la cuarta posición con Risaralda, Santander y Meta con un 5%.

Ilustración 4. Composición de la organización de la cadena productiva del aguacate Hass



Fuente: (Ministerio de Agricultura, 2020)

5.4 MÉTODOS PARA LA LOCALIZACIÓN DE INSTALACIONES

La información de los todos los autores citados para la temática de localización de instalaciones se divide en tres tipologías diferentes y cada una de estas con su correspondiente metodología, para este caso en especial se buscó hacer una revisión de la literatura donde diera como resultado una cantidad mayor de problemas de localización de instalaciones para plantas agroindustriales de productos perecederos y que además se resolviera usando la metodología de modelos multicriterio, pero es muy poca la información que se encuentra con estas especificaciones. A continuación, la *Tabla 1* resume toda la información correspondiente a la revisión de la literatura.

Tabla 1. Revisión de la literatura

(Autor, Año)	Tipos de problemas de localización			Metodología utilizada	
	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Modelación matemática Optimización multiobjetivo	Multicriterio AHP, TOPSIS, ELECTRE
	Problemas de localización de plantas	Problemas de localización de inventarios, centros de distribución	Programación, modelos, entre otros		
(Eiselt, 1992)	x			x	
(Duarte Duarte et al., 2005)	x			x	
(Klose & Drexl, 2005)	x			x	
(Zhi-lin & Dong, 2007)		x		x	
(Meng et al., 2009)	x			x	
(Abdel Halim Hiassat, 2010)		x		x	
(Montoya et al., 2010)			x	x	
(Zhao & Dou, 2011)			x	x	
(Chen et al., 2012)		x		x	
(Yang et al., 2013)			x	x	
(Neungmatcha et al., 2013)	x			x	
(Jouzani et al., 2013)	x			x	
(Soto-de la Vega et al., 2014)		x			x
(Bacalla et al., 2014)	x				x
(Etemadnia et al., 2015)	x			x	
(Sanabria et al., 2017)	x			x	
(Marulanda et al., 2017)	x			x	
(Travadelo, 2017)	x			x	

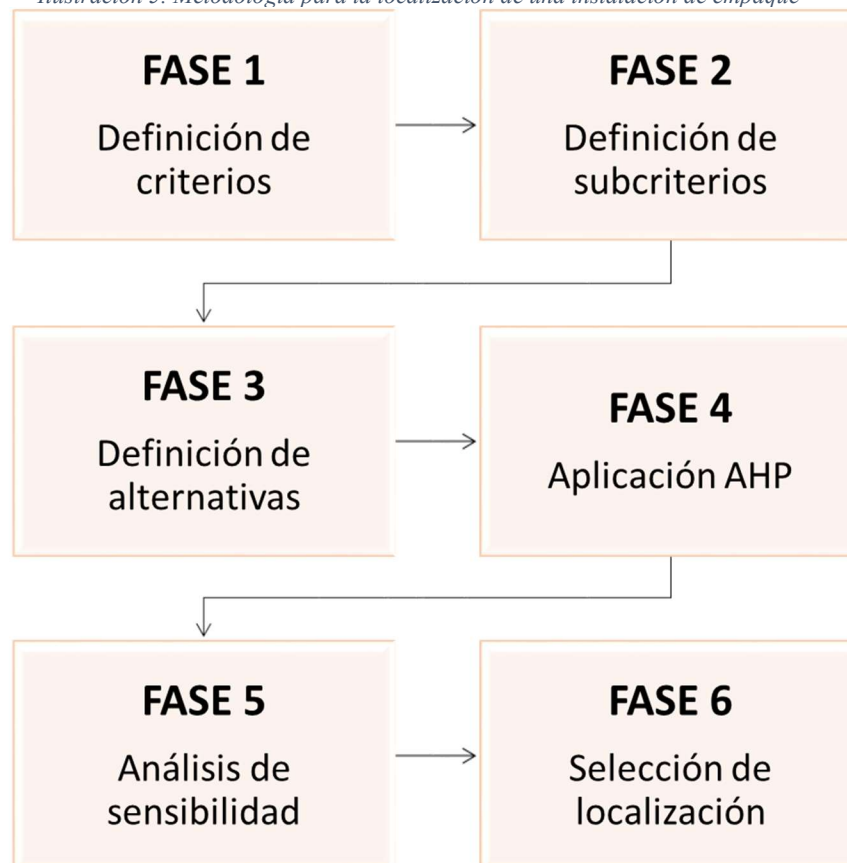
Fuente: Autores

En cambio, se puede ver de manera sistemática que la mayoría de los autores abordan sus problemas de localización con modelos matemáticos de optimización o multiobjetivo, sin embargo, se sigue con la postura de utilizar la herramienta multicriterio AHP para la resolución de esta problemática teniendo en cuenta que solo dos autores de los dieciocho citados abordaron el problema con esta metodología.

6 DESARROLLO METODOLÓGICO

La metodología que se propone para esta investigación está dividida en cuatro fases *Ilustración 5*, las primeras tres se realizan mediante la revisión de la literatura para tener unos conceptos teóricos sólidos que van a ser pilar fundamental para la aplicación del modelo multicriterio AHP, que va determinar cuál de las alternativas de localización es la mejor solución. Mediante la calificación que realicen los expertos con base en su experiencia, las comparaciones de criterios, subcriterios y alternativas las hacen por medio de una encuesta, finalmente el modelo arroja un ranking de alternativas entre las cuales se debe determinar cuál es la mejor dependiendo del porcentaje y de la consistencia que tengan los datos, se pasará a realizar las conclusiones pertinentes, además, se realiza un análisis de sensibilidad donde se varían las ponderaciones de la comparación de criterios que va determinar cómo fluctúan los resultados del modelo.

Ilustración 5. Metodología para la localización de una instalación de empaque



Fuente: Autores

6.1 FASE 1: DEFINICIÓN DE CRITERIOS

Los siguientes criterios son los que van a evaluar los expertos, para que la herramienta de toma de decisiones arroje la mejor solución, dentro de las alternativas para esta problemática. A continuación, se presenta la definición de cada uno de los criterios, siendo elaboración propia de los autores puesto que en la literatura existe poco material respecto al tema en cuestión.

6.1.1 Criterio de cercanía (CC1)

Se define como la distancia que hay entre dos puntos geográficos, para determinar la distancia y el tiempo aproximado entre los dos puntos en un vehículo; el proceso que se hace en la empresa es enviar el producto a la filial externa ubicada en Armenia y allí realizar el proceso de empaque posteriormente se envía al puerto que considere la naviera Cartagena o Santa Marta.

6.1.2 Criterio geográfico (CG2)

Se define como las condiciones climáticas, y del tipo de suelo en que va estar la línea de empaque de aguacate Hass para evitar que el fruto cambie de temperatura bruscamente y genere un choque térmico, ya que este cambio físico perjudica la calidad del producto por la maduración que se pueda lograr al recibir mayor o menor temperatura, llegando al proceso de pasmado y que no cambie su punto de maduración.

6.1.3 Criterio económico (CE3)

Se definen los siguientes costos para la nueva ubicación de la línea de empaque de aguacate Hass: costo del terreno, costos logísticos de transporte, costos de mano de obra, costos de procesamiento, costos de servicios públicos.

6.1.4 Criterio social (CS4)

Se define como el nivel académico y afinidad hortofrutícola que puedan tener los habitantes de los diferentes municipios mencionados en las alternativas de decisión.

6.2 FASE 2: DEFINICIÓN DE SUB-CRITERIOS

Para los criterios definidos anteriormente, les corresponden dos sub-criterios y se describen a continuación de la siguiente manera:

6.2.1 Cercanía a corredor logístico (SCC1)

Se define como la distancia en kilómetros y el tiempo aproximado en horas en un vehículo, que existe entre cada uno de los municipios que son alternativas de solución y el corredor logístico de Mediacanoa (Rionegro).

6.2.2 Cercanía a proveedores (SCC2)

Se define como la distancia en kilómetros y el tiempo aproximado en horas en vehículo, que existe entre cada uno de los municipios que son alternativas de solución y el cultivo de aguacate Hass.

6.2.3 Tipo de suelo (SCG1)

Se define como el suelo ideal para la línea de empaque de aguacate Hass, teniendo en cuenta que el producto principal se produce por temporadas y el peso de este producto afectaría el

almacenamiento causando hundimientos o agrietamiento del asfalto. Para este proyecto será necesario un tipo de suelo industrial.

6.2.4 Tipo de clima (SCG2)

Se considera tener en cuenta que la recepción de la fruta se debe hacer preferiblemente en las noches para que no haya choque térmico, debe entrar en temperatura controlada, en la zona de recepción con unos 20°C, en la zona de desinfección y lavado un poco más baja.

6.2.5 Costos logísticos de operación (SCE1)

Se define como los costos de transportar la materia prima del cultivo hasta la línea de empaque y mano de obra para desarrollar el proceso.

6.2.6 Costos del terreno (SCE2)

Se define como los costos de alquilar el terreno y de los servicios públicos.

6.2.7 Cultura (SCS1)

Se define como la afinidad que tienen los habitantes de cada municipio que son alternativas de solución para este problema de localización de instalaciones, se considera qué deben tener una relación del tipo agroindustrial y hortofrutícola, ya que ayudará mayormente en la ubicación de la línea de empaque.

6.2.8 Educación (SCS2)

Se define como el porcentaje de escolaridad que tienen los habitantes de cada uno de los municipios que son alternativas de solución, para determinar si son aptos para ejercer labores dentro de la línea de empaque de aguacate Hass (se requiere un nivel de escolaridad mínimo de bachillerato).

6.3 FASE 3: DEFINICIÓN DE ALTERNATIVAS

6.3.1 Definición de alternativas – Criterio Cercanía [CC1]

En la *Tabla 2* se muestran las distancias que existen entre cada una de las alternativas de solución hasta el corredor logístico de Mediacanoa (Rionegro), también, hasta el cultivo de aguacate Hass ubicado en el kilómetro 17 vía Roldanillo-La Tulia, se tomaron de referencia las distancias y el tiempo en un vehículo.

Tabla 2. Definición de alternativas – [CC1]

ALTERNATIVAS	CRITERIO CERCANÍA [CC1]	
	SCC1 [CORREDOR LOGISTICO]	SCC2 [CULTIVO]
BOLÍVAR	63,3km / 1hr y 7min	23km / 39min
ROLDANILLO	76km / 1hr y 15min	12km / 26min
LA UNIÓN	92,8km / 1hr y 33min	30km / 50min
ZARZAL	74,6km / 1hr y 13min	22km / 39min

Fuente: <https://www.google.com/maps>

6.3.2 Definición de alternativas – Criterio Geográfico [CG2]

En la *Tabla 3* se muestran las condiciones geográficas de cada una de las alternativas de solución, para el caso del suelo se tiene una medida estándar puesto que para la ubicación de la línea de empaque solo sirve el tipo de suelo industrial, para el tema del clima se recomienda que para la recepción del aguacate Hass se esté a unos 20°C para evitar el choque térmico.

Tabla 3. Definición de alternativas – [CG2]

ALTERNATIVAS	CRITERIO GEOGRÁFICO [CG2]	
	SCG1 [SUELO]	SCG2 [CLIMA]
BOLÍVAR	Industrial	En Bolívar, los veranos son cortos y calientes; los inviernos son cortos y cómodos y está opresivo, mojado y nublado durante todo el año. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 19 °C a 29 °C y rara vez baja a menos de 18 °C o sube a más de 32 °C (<i>Spark, 2016a</i>).
ROLDANILLO	Industrial	En Roldanillo, los veranos son cortos y calientes; los inviernos son cortos y cómodos y está opresivo, mojado y nublado durante todo el año. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 19 °C a 29 °C y rara vez baja a menos de 18 °C o sube a más de 31 °C (<i>Spark, 2016c</i>).
LA UNIÓN	Industrial	En La Unión, los veranos son cortos y calientes; los inviernos son cortos y cómodos y está opresivo, mojado y nublado durante todo el año. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 19 °C a 28 °C y rara vez baja a menos de 18 °C o sube a más de 31 °C (<i>Spark, 2016b</i>).
ZARZAL	Industrial	En Zarzal, los veranos son cortos y calientes; los inviernos son cortos y cómodos y está opresivo, mojado y nublado durante todo el año. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 19 °C a 29 °C y rara vez baja a menos de 18 °C o sube a más de 32 °C (<i>Spark, 2016d</i>).

Fuente: www. weatherspark.com

6.3.3 Definición de alternativas – Criterio Económico [CE3]

En la *Tabla 4* se muestran los diferentes costos que varían para cada una de las alternativas de solución se tiene el costo de transporte del aguacate Hass desde el cultivo hasta las alternativas, el costo de la mano de obra en cada uno de los municipios, el costo del terreno x m² y finalmente el costo de los servicios públicos que conlleva la línea de empaque tanto de agua como de energía.

Tabla 4. Definición de alternativas – [CE3]

ALTERNATIVAS	CRITERIO ECONÓMICO [CE3]				
	SCE1 [TRANSPORTE]	SCE1 [MANO DE OBRA]	SCE2 [TERRENO]	SCE2 [ACUEDUCTO]	SCE2 [ENERGÍA]
BOLÍVAR	\$450.000 / viaje camión hino 500 (N. García, 2021b)	\$33.000 / día (N. García, 2021a)	\$300.000 / m2 (C. M. B. Valle, 2005)	ACUEDUCTO - \$9473.53 / ALCANTARILLADO - \$5.414,98 / \$xm3 (Acuavalle S.A E.S.P, 2020a)	EPSA- (\$543,14 pesos por KW) (CELSIA, 2021)
ROLDANILLO	\$409.000 / viaje camión hino 500 (N. García, 2021b)	\$43.783mil / día (N. García, 2021a)	\$450.000 / m2 (C. M. R.- Valle, 2013)	ACUEDUCTO - \$9673.44 / ALCANTARILLADO - \$4.858,04 / \$xm3 (Acuavalle S.A E.S.P, 2020b)	EPSA- (\$543,14 pesos por KW) (CELSIA, 2021)
LA UNIÓN	\$480.000 / viaje camión hino 500 (N. García, 2021b)	\$35.000 / día (N. García, 2021a)	1.3% de 1SMLMV (C. M. L. U. Valle, 2004)	ACUEDUCTO - \$9815.95 / ALCANTARILLADO - \$5.187,36 / \$xm3 (Acuavalle S.A E.S.P, 2020d)	EPSA- (\$543,14 pesos por KW) (CELSIA, 2021)
ZARZAL	\$475.000 / viaje camión hino 500 (N. García, 2021b)	\$40.000 / día (N. García, 2021a)	\$270.000 / m2 (C. M. Z. Valle, 2009)	ACUEDUCTO - \$9673.44 / ALCANTARILLADO - \$4.712,78 / \$xm3 (Acuavalle S.A E.S.P, 2020c)	EPSA- (\$543,14 pesos por KW) (CELSIA, 2021)

Fuente: Autores

6.3.4 Definición de alternativas – Criterio Social [CS4]

En la *Tabla 5*, se muestra la definición de los subcriterios sociales con respecto a cada una de las alternativas, en primera instancia se hace una investigación acerca de cómo es la cultura hortofrutícola es cada uno de los municipios que son alternativas de solución, y para la parte derecha de la tabla se tiene lo que son los porcentajes de cobertura para la educación, en este apartado entiéndase como cobertura bruta al porcentaje de la totalidad de los estudiantes matriculados en el sistema educativo y cobertura neta al porcentaje de estudiantes matriculados (sin contar los que están con una edad superior a la correspondiente para cada grado).

Tabla 5. Definición de alternativas – [CS4]

ALTERNATIVAS	CRITERIO SOCIAL [CS4]																			
	SCS1 [CULTURA HORTOFRUTICOLA]	SCS2 [EDUCACIÓN]																		
BOLÍVAR	En 2016, el cultivo anual con mayor área sembrada a nivel departamental fue yuca con 727 hectáreas, los municipios con mayor área sembrada de yuca en 2016 fueron Dagua, Cali, Bolívar y Buenaventura con una participación conjunta de 40.03%, es destacable el rendimiento registrado en el municipio de Bolívar con 25,0 t/h, superior al rendimiento departamental (<i>Ambiente, Agricultura y Pesca, 2018</i>)	<table> <tr> <th></th><th>Cobertura bruta</th><th>Cobertura neta</th></tr> <tr> <td>transición</td><td>54.67 %</td><td>39.45 %</td></tr> <tr> <td>educación primaria</td><td>78.66 %</td><td>63.12 %</td></tr> <tr> <td>educación secundaria</td><td>99.48 %</td><td>64.36 %</td></tr> <tr> <td>educación media</td><td>80.18 %</td><td>36.81 %</td></tr> <tr> <td>educación - Total</td><td>83.86 %</td><td>70.07 %</td></tr> </table> (Planeación, 2020a)		Cobertura bruta	Cobertura neta	transición	54.67 %	39.45 %	educación primaria	78.66 %	63.12 %	educación secundaria	99.48 %	64.36 %	educación media	80.18 %	36.81 %	educación - Total	83.86 %	70.07 %
	Cobertura bruta	Cobertura neta																		
transición	54.67 %	39.45 %																		
educación primaria	78.66 %	63.12 %																		
educación secundaria	99.48 %	64.36 %																		
educación media	80.18 %	36.81 %																		
educación - Total	83.86 %	70.07 %																		
ROLDANILLO	Este municipio se encuentra ubicado aproximadamente a 149 kilómetros de Santiago de Cali, en la parte central norte del Departamento del Valle del Cauca, las principales fuentes económicas más conocidas son la caña de azúcar, ganaderías, agricultura, minería y artesanías. Donde la agricultura aporta el 65% de la economía, donde se cultiva también papaya, maíz, café, maracuyá y hortalizas (Valle del Cauca, 2018b)	<table> <tr> <th></th><th>Cobertura bruta</th><th>Cobertura neta</th></tr> <tr> <td>transición</td><td>89.41 %</td><td>60.87 %</td></tr> <tr> <td>educación primaria</td><td>83.07 %</td><td>73.34 %</td></tr> <tr> <td>educación secundaria</td><td>111.51 %</td><td>81.32 %</td></tr> <tr> <td>educación media</td><td>94 %</td><td>53.04 %</td></tr> <tr> <td>educación - Total</td><td>95.33 %</td><td>83.14 %</td></tr> </table> (Planeación, 2020b)		Cobertura bruta	Cobertura neta	transición	89.41 %	60.87 %	educación primaria	83.07 %	73.34 %	educación secundaria	111.51 %	81.32 %	educación media	94 %	53.04 %	educación - Total	95.33 %	83.14 %
	Cobertura bruta	Cobertura neta																		
transición	89.41 %	60.87 %																		
educación primaria	83.07 %	73.34 %																		
educación secundaria	111.51 %	81.32 %																		
educación media	94 %	53.04 %																		
educación - Total	95.33 %	83.14 %																		
LA UNIÓN	Municipio del departamento del Valle del Cauca, es Catalogada como «La Capital Vitivinícola de Colombia», a diferencia de las demás ciudades del departamento, esta tiene una gran variedad de agricultura vitícola, pues se cultiva una gran variedad de toda clase de frutas tropicales, como la maracuyá, la mora, la uva, el tomate, el melón, entre otros (Valle del Cauca, 2018a)	<table> <tr> <th></th><th>Cobertura bruta</th><th>Cobertura neta</th></tr> <tr> <td>transición</td><td>67.7 %</td><td>53.58 %</td></tr> <tr> <td>educación primaria</td><td>85.65 %</td><td>71.8 %</td></tr> <tr> <td>educación secundaria</td><td>104.33 %</td><td>72.83 %</td></tr> <tr> <td>educación media</td><td>77.54 %</td><td>43.89 %</td></tr> <tr> <td>educación - Total</td><td>89.31 %</td><td>78 %</td></tr> </table> (Planeación, 2020c)		Cobertura bruta	Cobertura neta	transición	67.7 %	53.58 %	educación primaria	85.65 %	71.8 %	educación secundaria	104.33 %	72.83 %	educación media	77.54 %	43.89 %	educación - Total	89.31 %	78 %
	Cobertura bruta	Cobertura neta																		
transición	67.7 %	53.58 %																		
educación primaria	85.65 %	71.8 %																		
educación secundaria	104.33 %	72.83 %																		
educación media	77.54 %	43.89 %																		
educación - Total	89.31 %	78 %																		
ZARZAL	El cultivo permanente con mayor área sembrada a nivel departamental fue caña azucarera con 203,010 hectáreas, Los municipios con mayor área sembrada de caña azucarera en 2016 fueron Palmira, Candelaria y Zarzal con una participación conjunta de 37.34% (<i>Ambiente, Agricultura y Pesca, 2018</i>)	<table> <tr> <th></th><th>Cobertura bruta</th><th>Cobertura neta</th></tr> <tr> <td>transición</td><td>77.19 %</td><td>59.06 %</td></tr> <tr> <td>educación primaria</td><td>88.42 %</td><td>75.24 %</td></tr> <tr> <td>educación secundaria</td><td>101.12 %</td><td>68.98 %</td></tr> <tr> <td>educación media</td><td>91.83 %</td><td>45.14 %</td></tr> <tr> <td>educación - Total</td><td>92.51 %</td><td>77.93 %</td></tr> </table> (Planeación, 2020d)		Cobertura bruta	Cobertura neta	transición	77.19 %	59.06 %	educación primaria	88.42 %	75.24 %	educación secundaria	101.12 %	68.98 %	educación media	91.83 %	45.14 %	educación - Total	92.51 %	77.93 %
	Cobertura bruta	Cobertura neta																		
transición	77.19 %	59.06 %																		
educación primaria	88.42 %	75.24 %																		
educación secundaria	101.12 %	68.98 %																		
educación media	91.83 %	45.14 %																		
educación - Total	92.51 %	77.93 %																		

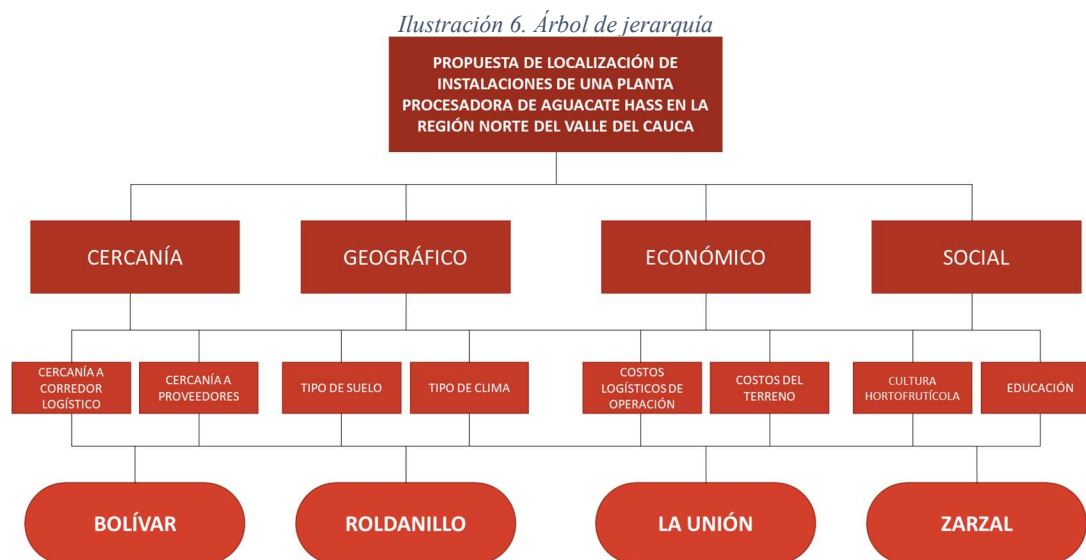
Fuente: Autores

6.4 FASE 4: APLICACIÓN AHP

Según Viñuales (2015) el método AHP (Analytic Hierarchy Procces o análisis jerárquico de proceso) es una herramienta muy útil para solventar problemas complejos de toma de decisiones y ayudar al usuario o decisión-maker a adoptar la solución más adecuada a través de una estructura jerárquica. En líneas generales, se basa en reducir una decisión compleja a una serie de comparaciones por parejas y sintetizar dichos resultados, incorporando así los aspectos tanto objetivos como subjetivos en la decisión.

6.4.1 Árbol de jerarquía:

El árbol de jerarquía tiene en su copa el objetivo general del proyecto de investigación, en un segundo nivel se encuentran los criterios, en el tercer nivel dos subcriterios por cada uno de los criterios y finalmente se encuentran las alternativas de solución sacadas de la Gobernación del Valle del Cauca (2021) como se muestra en la *Ilustración 6*.



Fuente: Autores

6.4.2 Desarrollo del modelo:

El modelo se montó en Excel, a continuación, se explica el paso a paso de cómo desarrollar el modelo.

- **Comparación de criterios:** en primera instancia se realiza una matriz que compara cada uno de los criterios entre sí, conforme a la escala de Saaty.
- **Matriz normalizada:** se realiza una matriz donde cada uno de sus resultados no va ser más que la división de los valores de cada celda de la comparación de criterios por el total de cada una de sus columnas.
- **Vector propio:** se realiza un promedio por filas con la matriz normalizada para obtener el vector.
- **Indicadores:** el λ máx viene siendo dado por la función “mmult” que va realizar la operación entre matrices, la primera matriz son los cuatro totales de la última fila de la comparación de criterios y para la segunda matriz se tienen los cuatro promedios del vector propio. El índice de consistencia “CI” está dado por fórmula, el índice aleatorio “IR” es conforme el número de criterios utilizados y el coeficiente de consistencia “CC” es la división de CI / IR.
- **Comparación de subcriterios:** en segunda instancia se realizan cuatro matrices donde se comparan los subcriterios de cada criterio entre sí, conforme a la escala de Saaty.

- **Matriz normalizada:** se realiza de manera similar que la matriz normalizada de la comparación de criterios, se divide cada celda de la comparación de subcriterios por el total de cada una de sus columnas.
- **Vector propio:** se realiza de manera similar que, con el vector propio de la comparación de criterios, se saca el promedio de las filas con la matriz normalizada para obtener el vector.
- **Indicadores:** el λ máx viene siendo dado por la función “mmult” que va realizar la operación entre matrices, la primera matriz son los dos totales de la última fila de la comparación de subcriterios y para la segunda matriz se tienen los dos promedios del vector propio, este proceso se realiza cuatro veces conforme al número de criterios respectivamente. El índice de consistencia “CI” está dado por fórmula, el índice aleatorio “IR” es conforme el número de subcriterios utilizados y el coeficiente de consistencia “CC” es la división de CI / IR.
- **Valoración de subcriterios:** los pesos de los subcriterios conforme a su criterio son los valores de los vectores propios de la comparación de subcriterios respectivamente. El peso “W” viene siendo el producto de cada una de las valoraciones de los subcriterios por lo que pesa cada criterio según el vector propio de la comparación de criterios. Por ejemplo, a los dos subcriterios (SCC1, SCC2), se tiene su valoración conforme a su vector propio correspondiente y se multiplica por el peso del vector propio de su criterio respectivo (cercanía), de manera similar con los dos subcriterios geográficos, económicos y sociales.
- **Comparación de alternativas:** en tercera instancia se realizan ocho matrices donde se compara cada subcriterio de manera individual con las alternativas de solución de localización Bolívar, Roldanillo, La Unión y Zarzal, conforme a la escala de Saaty.
- **Matriz normalizada:** se realiza un proceso similar al anterior, se divide cada celda de la comparación de alternativas por el total de cada una de sus columnas respectivamente.
- **Vector propio:** de manera análoga, con el vector propio de la comparación de alternativas, se saca el promedio de las filas con la matriz normalizada para obtener el vector.
- **Indicadores:** el λ máx viene siendo dado por la función “mmult” que va realizar la operación entre matrices, la primera matriz son los cuatro totales de la última fila de la comparación de alternativas y para la segunda matriz se tienen los cuatro promedios del vector propio, este proceso se realiza ocho veces conforme al número de subcriterios utilizado. El índice de consistencia “CI” está dado por fórmula, el índice aleatorio “IR” es conforme el número de alternativas utilizadas y el coeficiente de consistencia “CC” es la división de CI / IR.
- **Jerarquización de alternativas:** finalmente se toman todos los vectores propios de la comparación de las alternativas y se consolidan en una sola matriz, junto con los pesos “W” de la valoración de los subcriterios.

- **Valoración final:** finalmente se realiza un sumaproducto entre toda la fila de cada alternativa, con toda la fila de los pesos “W”, dando como resultado una nueva matriz con el ranking final de alternativas.
- **Análisis de sensibilidad:** para concluir se realizan unas variaciones en los datos consolidados del modelo para observar cómo fluctúa la solución conforme a cada cambio realizado.

7 RESULTADOS

7.1 DEFINICIÓN DE LA EMPRESA CASO DE ESTUDIO

Laurentina Farmer House SAS es una empresa dedicada a la producción, recolección y distribución de aguacate Hass de la Región, está ubicada en el kilómetro 17 vía Roldanillo hacia el corregimiento de la Tulia Valle del Cauca, exactamente en la vereda las cruces. Es una empresa que tiene como producto principal el aguacate Hass en su producción y como segundo producto el limón tahití; para llevar la empresa por el camino deseado para su debido funcionamiento, se requiere la mejor utilización de todos sus recursos, haciendo sinergia para aumentar las utilidades o para tener una sostenibilidad en el corto, mediano y largo plazo.

Según Rendón (2018) la ubicación de la planta es una decisión estratégica que presenta factores fundamentales para el futuro de la empresa, el principal objetivo es establecer una ubicación adecuada que garantice que la empresa se encuentra en un buen punto para su utilización, teniendo en cuenta distintos factores que pueden complementar y permitir un fácil acceso y prevenir las demoras en las entregas del producto cuando la demanda del producto crece y está en su punto óptimo de producción (todo lo anterior se afirma con veracidad gracias a que la fuente de información es primaria trabaja en la empresa caso de estudio). Una buena ubicación de la planta facilita toda la logística en su debido canal de distribución teniendo en cuenta que se puede incurrir en unos menores costos y una garantía de un mejor sitio para su localización.

Se cuenta con dos cosechas en el año, la primera a finales de marzo y principios de abril y la segunda a finales de octubre y principios de noviembre. Luego de realizar la cosecha, la materia prima se traslada en canastilla tipo plana del lote al centro de acopio, las canastillas deben de estar protegidas sobre unas estibas y con un material donde no le dé el sol (poli sombra). En unos tanques se prepara en 100 litros de agua se le adiciona 1% de procloraz (jabón potásico) y se procede a sumergir las canastillas con la materia prima (aguacate Hass) en los tanques para eliminar, prevenir y erradicar alguna traza que se pueda transmitir y pueda ocasionar un daño en el aguacate ocasionando perder calidad por los daños mecánicos en fruto. La primera cosecha se denomina travesía porque la demanda de esa cosecha es muchísimo menor a la cosecha final, pues esta última determina el pico máximo de producción en el año siendo así la más importante y la que se tiene a consideración para marcar un hito en la producción.

En cuanto a los costos de producción sin tener en cuenta el costo de suelo, están alrededor de los \$100.000 pesos árbol, la adecuación del producto, desde el proceso de floración, fertilización hasta que llega al tiempo de cosecha, no se considera aun post-cosecha debido a que solo tienen su proceso hasta el punto donde se terceriza el proceso de exportación, el costo de tercerizar el

proceso de exportación para 70.000 Kilogramos que fueron exportables en el mes 04 del año 2021 fue de 35.623 USD (Rendón, 2018). Las condiciones para tener un buen producto de aguacate Hass es tener una altura entre 1600 y 2100 metros sobre el nivel del mar, teniendo en cuenta lo anterior, Agropecuaria Laurentina se encuentra a una altura de 1818 Mt sobre el nivel del mar, es decir, está entre los límites establecidos. Para el año 2021 se esperaba que los volúmenes de producción estuvieran cercanos de los 26 a 36 kilos por árbol, teniendo en cuenta que la densidad de siembra son 400 árboles por hectáreas por 30 kilos por árbol, dando como producción esperada 14400 kilos por hectárea, Rendón sostiene que la producción por hectárea esperada en el pico máximo de producción es tener entre 25 y 33 toneladas por hectárea/año y hay 86 hectáreas sembradas actualmente, es decir son 2.838.000 toneladas por hectárea.

7.1.1 Proceso de la cadena productiva del aguacate en la empresa caso de estudio

La empresa Laurentina Farmer House SAS hace un análisis detallado de sus procesos para la consecución de las actividades en las jornadas laborales que constantemente presenta, la principal característica para que la producción sea considerada es la determinación de la aptitud para cosecha que generalmente indica que todos los arboles del lote que se espera cosechar estén en condiciones ideales para su proceso de cosecha y no asuman el riesgo de tener malos manejos con el árbol y que pueda afectar su productividad por cosecha temprana; posteriormente se determina la edad mínima de cosecha que son dos años a partir de la siembra, si el producto no cumple con esta característica se debe de tener una espera o una tolerancia para que el árbol cumpla con esta edad, por el contrario si cumple con esta edad se continua con el proceso de determinar cuáles son los límites máximos de residualidad (análisis de trazas), se cosechan frutos de los extremos de los lotes a cosechar y se envían a los laboratorios internacionales (AGQ LABS Bogotá), quienes determinan si los químicos que se aplican en el trópico, tienen un periodo de carencia y establecen que no se transmitan en el fruto para que no tenga la traza química que no esté permitida en el país destino, en caso de tener residualidad no se puede exportar si el país destino no lo permite.

Luego se realiza un análisis de materia seca que lo que mide es la maduración del fruto, es decir, determina en qué porcentaje de maduración está el fruto para poder realizar el proceso en planta, tales como recepción, selección y embalaje. Las líneas de empaque solo reciben los frutos con un porcentaje de materia seca mínimo del 22% y máximo del 28%, posterior a ello se continúa con el proceso de conteos de producción, donde se determina la cantidad aproximada de frutos en árbol para tener una producción esperada en el lote a cosechar. En el proceso de producción se establece la selección de personal donde se organizan en conjunto (Cuadrillas de recolección) según sea la cosecha esperada, se organizan en monitores de producción, cosechadores y personal de carga, cuando la cosecha es demasiado alta la empresa subcontrata personal para poder cumplir con la producción y los capacita de forma que todas las personas en conjunto tengan igual rendimiento en la labor, el producto debe de ser cosechado y despachado a las 6 de la tarde, ya que por la altitud de la finca y las temperaturas podría establecerse un choque térmico que pueda afectar la maduración de los frutos si se hace antes. La recolección de frutos se realiza con una bolsa especial y con unas tijeras especiales se corta el fruto y cae en la bolsa, la función de esta es no maltratar el fruto para que no pierda calidad por daños mecánicos; el bolso tiene una capacidad de 20 kg, se desembolsa el producto en bolsa a la canastilla tipo plana y allí apilan las canastillas, luego se desplaza el fruto en canastilla hasta el centro de acopio y se realiza una preclasificación del producto según sea su calidad, su peso y su calibre; luego el producto clasificado se sumerge en la canastilla en procloraz 0.5 gm, producto que garantiza la protección del fruto.

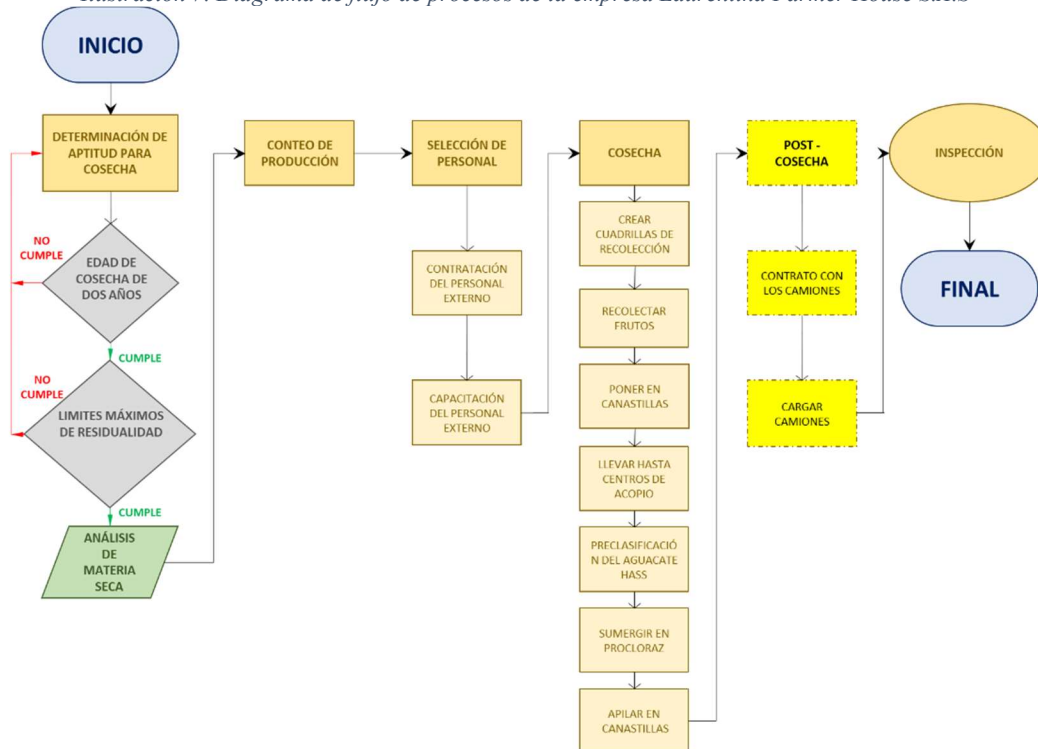
La empresa realiza la post-cosecha según sea la negociación internacional, en este caso se asume el riesgo en conjunto, sale el camión a las seis de la tarde hacia la línea de empaque con el producto preseleccionado, llega a la línea de empaque y allí se selecciona según los calibres, se embala el aguacate en cajas de cartón y estibas plásticas, y se llevan a cuartos fríos o temperatura controlada, todo el proceso desde que sale el producto hasta que llega a la línea de empaque es acompañado por un supervisor que garantiza que el fruto que se lleva coincide con el de los lotes cosechados en la finca, adicionalmente este supervisor vela por colocar un código en cada una de las canastillas para tener un conteo de todo el producto almacenado de allí pasan a tractomulas con contenedor de atmósfera controlada con su precinto hasta el puerto donde pasan a una revisión de la fruta que dura aproximadamente de tres a cuatro horas y luego lo suben al buque.

Finalmente, es para resaltar que una correcta ubicación de las instalaciones, de una nueva línea de empaque de aguacate Hass en la región norte del Valle del Cauca, contribuiría a reducir los peligros asociados en cada uno de los desplazamientos, primeramente en el de la finca hacia la línea de empaque, y segundo desde la línea de empaque hacia el puerto, la reducción de los recorridos asociados a los transportes de la materia prima y producto terminado, en cada uno de los eslabones del proceso, donde colateralmente se impulsa a las personas de la región por medio de nuevos empleos y así contribuir con la evolución de la industria hortofrúcticola de productos perecederos.

7.1.2 Diagrama de flujo de procesos Laurentina Farmer House S.A.S

En la *Ilustración 7* se realiza para dar una visión holística de todos los procesos que se realizan en la empresa, la línea punteada tiene los procesos que son tercerizados, de igual manera, en el siguiente punto de este capítulo se explica con detalle cada uno de los procesos del diagrama.

Ilustración 7. Diagrama de flujo de procesos de la empresa Laurentina Farmer House S.A.S



Fuente: Autores

7.1.3 Descripción de los procesos Laurentina Farmer House S.A.S

- **Determinación para aptitud para cosecha**

- *Edad de cosecha de dos años:*

Se debe evaluar si el árbol esta con las condiciones físicas para ser cosechado o se le debe dar un intervalo de tiempo, para que cumpla su ciclo normal.

- *Límites máximos de residualidad:*

Sacar algunos frutos de cada lote, por lo general dos o tres de los extremos, y mandarlos a un laboratorio certificado internacionalmente PRIMORIS o AGQ LABS ubicados en Bogotá, donde hacen unos análisis para mirar si el fruto no tiene ninguna traza de químico no permitido en el país destino.

- *Análisis de materia seca:*

Mide la maduración del fruto, debe estar entre 23% - 28% para ser recibido en planta y ser procesado.

- **Conteo de producción**

El conteo de los frutos es realizado contando manualmente cada cuatro árboles por surco (línea de árboles) y cada seis surcos, es decir, si el primer surco tiene 8 árboles se cuenta el árbol cuatro y el árbol ocho, luego se pasa hasta el surco número seis y se repite el proceso, este proceso se realiza en toda la finca. Finalmente se realiza un promedio con el total de los frutos recogidos sobre el número de árboles a los que se les hizo el conteo, lo que arroja un promedio que al ser multiplicado por el número de árboles de toda la finca da el promedio global de producción.

- **Selección del personal**

- *Contratación del personal externo:*

Luego del conteo y teniendo en cuenta el análisis de materia seca (*se sabe en qué semana va estar apta la fruta para poder despachar*). Se hace un estudio del rendimiento de los trabajadores fijos de la empresa, según el pedido del cliente y tomando como referencia el estudio se determina cuantos trabajadores más se deben contratar, para poder cumplir con la demanda.

- *Capacitación del personal externo:*

Se realiza una inducción para el personal nuevo, por parte de los trabajadores más experimentados en un corto periodo de tiempo mientras asimilan la metodología de trabajo.

- **Cosecha**

- *Crear cuadrillas de recolección:*

Cada cuadrilla debe tener un supervisor, que son personas experimentadas de la empresa en el proceso de cosecha y recolección cada cuadrilla tiene alrededor de diez trabajadores.

- *Recolectar frutos:*

Los trabajadores de este proceso cuentan con un maletín especial de recolección, hacen aproximadamente 20 kilos cada uno que no maltrata mucho el fruto, adicionalmente cuentan con unas tijeras para los árboles pequeños y unas varas con unas cuchillas al final para los árboles más grandes.

- *Apilar en canastillas:*

El fruto recolectado es puesto en canastillas para que se facilite su transporte hasta el centro de acopio.

- *Llevar hasta centros de acopio:*

Luego se lleva el fruto recolectado en unas canastillas por medio de tractores y camionetas hasta los centros de acopio para seguir con el proceso.

- *Preclasificación del aguacate Hass*

Se realiza con el fin de sacar cualquier fruto que por algún motivo no esté en las condiciones óptimas para exportar, teniendo en cuenta su calidad, calibre y peso.

- *Sumergir en procloraz*

Se sumerge en este químico en una concentración de 0.5 Gr, con el fin de controlar la vida útil del fruto y también el crecimiento de hongos o enfermedades que puedan afectar la materia prima.

- *Apilar en canastillas*

Para culminar este proceso se saca el fruto de la inmersión del químico y se comienza a colocar de forma ordenada en canastillas.

- **Post-cosecha**

- *Contrato con los camiones*

Esto depende de la cantidad requerida para el despacho, si por ejemplo, se tiene en planta 16 toneladas para ser despachadas, se contratan dos camiones de carga cada uno de ocho toneladas. La exportadora que es la empresa que terceriza el proceso tiene camiones, también tiene contactos de personas que tienen camiones, la empresa tiene camiones, es decir, el producto así se vare un carro siempre hay contactos para que otro vaya por el producto.

- *Cargar camiones*

Se cargan los camiones contratados con el fruto (*por lo general alrededor de las 6pm*). La línea de empaque dónde lo empacan y lo cargan en los cuartos fríos y posteriormente a los containers y ya luego para el puerto.

- **Inspección**

Para el proceso de inspección la empresa dispone de personal interno para verificar que la fruta que entra a la línea de empaque, estos colaboradores deben diligenciar un formato con los códigos que tiene cada canastilla que ingresa y también se realiza un registro fotográfico de la fruta que va entrando.

7.2 RESULTADOS AHP

Para la aplicación del modelo multicriterio de Localización de una planta de empaque de aguacate, se usó AHP, se necesitó de la colaboración de un grupo de seis expertos (*Tabla 6*), los cuales trabajan de manera directa con la empresa caso de estudio, las calificaciones a las comparaciones de los criterios, subcriterios, alternativas se realizaron conforme a la escala de Saaty *Ilustración 8*. Los resultados de manera sistemática completa del modelo AHP están en el apartado de anexos.

Tabla 6. Expertos en el sector de la cadena de aguacate Hass

#	CARGO
1	GERENTE COMERCIALIZADORA
2	ADMINISTRADOR DE CAMPO
3	REPRESENTANTE LEGAL
4	SUPERVISOR DE VIVERO
5	GERENTE DE OPERACIONES
6	SUPERVISOR CERTIFICACIONES

Fuente: Autores

Ilustración 8. Escala de Saaty

JUICIO SOBRE LA PREFERENCIA	TASA NUMÉRICA
Importancia extrema	9
Muy fuerte importancia	7
Gran importancia	5
Importancia moderada	3
Igual importancia	1

Fuente: (Osorio & Orejuela, 2008)

Se realizó el modelo AHP en once hojas de cálculo, seis de ellas contienen el modelo de manera individual para cada uno de los expertos encuestados; una hoja de cálculo para el consolidado que no viene siendo más que la media geométrica de cada uno de los datos respectivamente, y las cuatro hojas restantes tienen los escenarios del análisis de sensibilidad, así mismo, se obtuvieron seis rankings de alternativas individuales, un consolidado, y cuatro del análisis de sensibilidad. De esta manera, los resultados son los siguientes:

- ✓ La mejor opción dentro del ranking de alternativas desarrollado para el Experto 1 es Bolívar con un 32.9% seguida de Roldanillo con un 28.4%.

Tabla 7. Valoración final experto #1

VALORACIÓN FINAL	
ALT2	0.3293994
ALT1	0.284137
ALT3	0.2473337
ALT4	0.1391299

Fuente: Autores

La consistencia en los datos es de un 0.04.

Tabla 8. Indicadores experto #1

λ MAX	4.11
CI	0.04
IR	0.88
CC	0.04

Fuente: Autores

El criterio cercanía fue el más ponderado con un 34% seguido del criterio económico un 31%.

Tabla 9. Comparación de criterios experto #1

CRITERIOS	VP
CERCANÍA	0.34
ECONÓMICO	0.31
SOCIAL	0.18
GEOGRÁFICO	0.17

Fuente: Autores

Los subcriterios con mejor puntuación fueron la cercanía a corredor logístico y la cercanía a proveedores los dos con un 17.00%.

Tabla 10. Comparación de subcriterios experto #1

VALORACIÓN DE PESOS DE LOS SUBCRITERIOS CON RESPECTO A LOS CRITERIOS					
	CERCANÍA	GEOGRAFICO	ECONÓMICO	SOCIAL	W
SCC1	0.50	-	-	-	0.170009986
SCC2	0.50	-	-	-	0.170009986
SCG1	-	0.50	-	-	0.0864319
SCG2	-	0.50	-	-	0.0864319
SCE1	-	-	0.50	-	0.155912242
SCE2	-	-	0.50	-	0.155912242
SCS1	-	-	-	0.44	0.076690138
SCS2	-	-	-	0.56	0.098601607

Fuente: Autores

- ✓ La mejor opción dentro del ranking de alternativas desarrollado para el Experto 2, es Roldanillo con un 25.9% seguida de Zarzal con un 25.6%.

Tabla 11. Valoración final experto #2

VALORACIÓN FINAL	
ALT2	0.2593287
ALT4	0.2565287
ALT1	0.2537423
ALT3	0.2304003

Fuente: Autores

La consistencia en los datos es de un 0.01.

Tabla 12. Indicadores experto #2

λ MAX	4.04
CI	0.01
IR	0.88
CC	0.01

Fuente: Autores

El criterio económico fue el más ponderado con un 32% seguido del criterio cercanía con un 27%.

Tabla 13. Comparación de criterios experto #2

CRITERIOS	VP
ECONÓMICO	0.32
CERCANÍA	0.27
GEOGRÁFICO	0.25
SOCIAL	0.17

Fuente: Autores

Los subcriterios con mejor puntuación fueron los costos logísticos de operación y costos del terreno los dos con un 15.78%.

Tabla 14. Comparación de subcriterios experto #2

VALORACIÓN DE PESOS DE LOS SUBCRITERIOS CON RESPECTO A LOS CRITERIOS					
	CERCANÍA	GEOGRAFICO	ECONÓMICO	SOCIAL	W
SCC1	0.42	-	-	-	0.110447064
SCC2	0.58	-	-	-	0.15462589
SCG1	-	0.50	-	-	0.12272543
SCG2	-	0.50	-	-	0.12272543
SCE1	-	-	0.50	-	0.15788168
SCE2	-	-	0.50	-	0.15788168
SCS1	-	-	-	0.50	0.086856412
SCS2	-	-	-	0.50	0.086856412

Fuente: Autores

- ✓ La mejor opción dentro del ranking de alternativas desarrollado para el Experto 3, es Roldanillo con un 28.1% seguida de Bolívar con un 25.6%.

Tabla 15. Valoración final experto #3

VALORACIÓN FINAL	
ALT2	0.2815316
ALT1	0.2569444
ALT4	0.2392642
ALT3	0.2222598

Fuente: Autores

La consistencia en los datos es de un 0.04.

Tabla 16. Indicadores experto #3

λ MAX	4.11
CI	0.04
IR	0.88
CC	0.04

Fuente: Autores

El criterio cercanía fue el más ponderado con un 41% seguido del criterio geográfico con un 23%.

Tabla 17. Comparación de criterios experto #3

CRITERIOS	VP
CERCANÍA	0.41
GEOGRÁFICO	0.23
ECONÓMICO	0.20
SOCIAL	0.16

Fuente: Autores

Los subcriterios con mejor puntuación fueron la cercanía a proveedores y cercanía al corredor logístico con un 24.02% y 17.16%.

Tabla 18. Comparación de subcriterios experto #3

VALORACIÓN DE PESOS DE LOS SUBCRITERIOS CON RESPECTO A LOS CRITERIOS					
	CERCANÍA	GEOGRAFICO	ECONÓMICO	SOCIAL	W
SCC1	0.42	-	-	-	0.171601496
SCC2	0.58	-	-	-	0.240242095
SCG1	-	0.30	-	-	0.067864201
SCG2	-	0.70	-	-	0.158349802
SCE1	-	-	0.58	-	0.118700593
SCE2	-	-	0.42	-	0.084786138
SCS1	-	-	-	0.58	0.092432477
SCS2	-	-	-	0.42	0.066023198

Fuente: Autores

- ✓ La mejor opción dentro del ranking de alternativas desarrollado para el Experto 4, es Roldanillo con un 33.6% seguida de Bolívar con un 29.2%.

Tabla 19. Valoración final experto #4

VALORACIÓN FINAL	
ALT2	0.3363407
ALT1	0.2923742
ALT3	0.2024608
ALT4	0.1688243

Fuente: Autores

La consistencia en los datos es de un 0.02.

Tabla 20. Indicadores experto #4

λ MAX	4.05
CI	0.02
IR	0.88
CC	0.02

Fuente: Autores

El criterio cercanía fue el más ponderado con un 30% seguido del criterio económico con un 28%.

Tabla 21. Comparación de criterios experto #4

CRITERIOS	VP
CERCANÍA	0.30
ECONÓMICO	0.28
SOCIAL	0.23
GEOGRÁFICO	0.18

Fuente: Autores

Los subcriterios con mejor puntuación fueron los costos logísticos de operación, cercanía a proveedores y al corredor logístico con un 15.90% y un 15.12% para los dos últimos.

Tabla 22. Comparación de subcriterios experto #4

VALORACIÓN DE PESOS DE LOS SUBCRITERIOS CON RESPECTO A LOS CRITERIOS					
	CERCANÍA	GEOGRAFICO	ECONÓMICO	SOCIAL	W
SCC1	0.50	-	-	-	0.151253133
SCC2	0.50	-	-	-	0.151253133
SCG1	-	0.50	-	-	0.091510025
SCG2	-	0.50	-	-	0.091510025
SCE1	-	-	0.56	-	0.159057801
SCE2	-	-	0.44	-	0.123711623
SCS1	-	-	-	0.56	0.130333647
SCS2	-	-	-	0.44	0.101370614

Fuente: Autores

- ✓ La mejor opción dentro del ranking de alternativas desarrollado para el Experto 5, es Roldanillo con un 29.9% seguida de La Unión con un 26.8%.

Tabla 23. Valoración final experto #5

VALORACIÓN FINAL	
ALT2	0.2991492
ALT3	0.2685406
ALT4	0.2416164
ALT1	0.1906938

Fuente: Autores

La consistencia en los datos es de un 0.09.

Tabla 24. Indicadores experto #5

λ MAX	4.24
CI	0.08
IR	0.88
CC	0.09

Fuente: Autores

El criterio cercanía fue el más ponderado con un 52% seguido de los criterios social y geográfico con un 17%.

Tabla 25. Comparación de criterios experto #5

CRITERIOS	VP
CERCANÍA	0.52
GEOGRÁFICO	0.17
SOCIAL	0.17
ECONÓMICO	0.14

Fuente: Autores

Los subcriterios con mejor puntuación fueron la cercanía a proveedores y cercanía a corredor logístico con un 38.90% y 12.96%.

Tabla 26. Comparación de subcriterios experto #5

VALORACIÓN DE PESOS DE LOS SUBCRITERIOS CON RESPECTO A LOS CRITERIOS					
	CERCANÍA	GEOGRAFICO	ECONÓMICO	SOCIAL	W
SCC1	0.25	-	-	-	0.1296875
SCC2	0.75	-	-	-	0.3890625
SCG1	-	0.50	-	-	0.086160714
SCG2	-	0.50	-	-	0.086160714
SCE1	-	-	0.70	-	0.095625
SCE2	-	-	0.30	-	0.040982143
SCS1	-	-	-	0.63	0.107700893
SCS2	-	-	-	0.38	0.064620536

Fuente: Autores

- ✓ La mejor opción dentro del ranking de alternativas desarrollado para el Experto 6, es Zarzal con un 25.9% seguida de Bolívar con un 25.5%.

Tabla 27. Valoración final experto #6

VALORACIÓN FINAL	
ALT4	0.2590062
ALT1	0.255762
ALT2	0.2503456
ALT3	0.2348861

Fuente: Autores

La consistencia en los datos es de un 0.01.

Tabla 28. Indicadores experto #6

λ MAX	4.03
CI	0.01
IR	0.88
CC	0.01

Fuente: Autores

El criterio geográfico y el económico fueron los más ponderados con un 28% seguido del criterio cercanía 25%.

Tabla 29. Comparación de criterios experto #6

CRITERIOS	VP
ECONÓMICO	0.28
GEOGRÁFICO	0.28
CERCANÍA	0.25
SOCIAL	0.19

Fuente: Autores

Los subcriterios con mejor puntuación fueron la cercanía a proveedores, tipo de suelo, tipo del clima, costos logísticos de operación y costos del terreno con un 14.48% para el primero y los otros cuatro con un 13.97%.

Tabla 30. Comparación de subcriterios experto #6

VALORACIÓN DE PESOS DE LOS SUBCRITERIOS CON RESPECTO A LOS CRITERIOS					
	CERCANÍA	GEOGRAFICO	ECONÓMICO	SOCIAL	W
SCC1	0.42	-	-	-	0.103443287
SCC2	0.58	-	-	-	0.144820602
SCG1	-	0.50	-	-	0.139756944
SCG2	-	0.50	-	-	0.139756944
SCE1	-	-	0.50	-	0.139756944
SCE2	-	-	0.50	-	0.139756944
SCS1	-	-	-	0.50	0.096354167
SCS2	-	-	-	0.50	0.096354167

Fuente: Autores

- ✓ El consolidado del modelo AHP indica en su valoración final del ranking de alternativas, que la mejor opción de localización de instalaciones es Roldanillo con un 29.99% seguida de Bolívar con un 25.69%, en tercer lugar, La Unión con un 23.98% y por ultimo Zarzal con un 20.32%.

Tabla 31. Valoración final modelo AHP consolidado

VALORACIÓN FINAL	
ALT2	0.2999601
ALT1	0.2569282
ALT3	0.2398946
ALT4	0.2032171

Fuente: Autores

La consistencia en los datos es de un 0.02.

Tabla 32. Indicadores modelo AHP consolidado

λ MAX	4.04
CI	0.01
IR	0.88
CC	0.02

Fuente: Autores

El criterio cercanía fue el más ponderado con un 35% seguido del criterio económico con un 24%.

Tabla 33. Comparación de criterios modelo AHP consolidado

CRITERIOS	VP
<i>CERCANÍA</i>	0.35
<i>ECONÓMICO</i>	0.24
<i>GEOGRÁFICO</i>	0.22
<i>SOCIAL</i>	0.19

Fuente: Autores

Los subcriterios con mejor puntuación fueron la cercanía a proveedores y la cercanía al corredor logístico con un 20.38% y 14.34%.

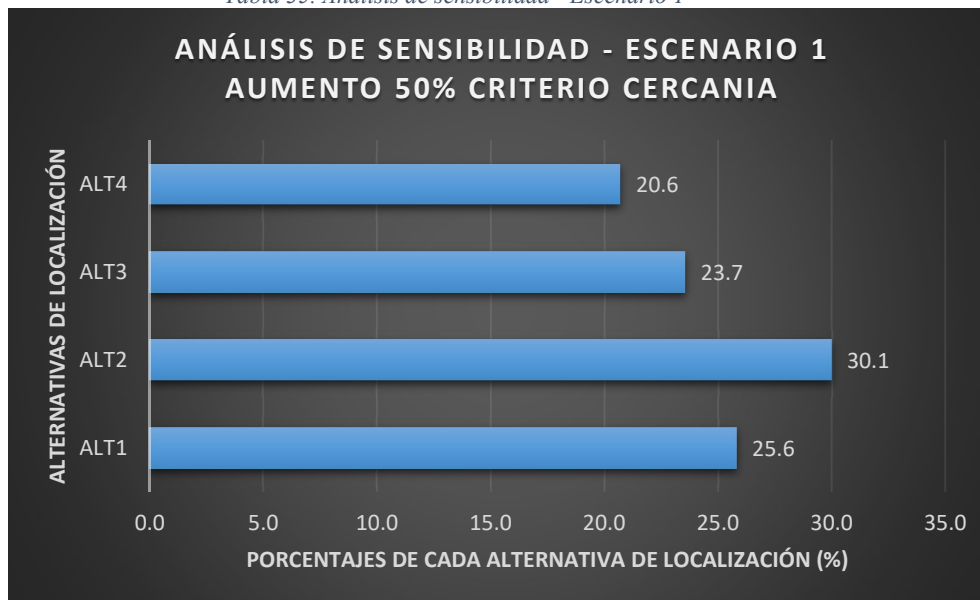
Tabla 34. Comparación subcriterios modelo AHP consolidado

VALORACIÓN DE PESOS DE LOS SUBCRITERIOS CON RESPECTO A LOS CRITERIOS					
	CERCANÍA	GEOGRAFICO	ECONÓMICO	SOCIAL	W
SCC1	0.41	-	-	-	0.14343977
SCC2	0.59	-	-	-	0.20382329
SCG1	-	0.46	-	-	0.100365793
SCG2	-	0.54	-	-	0.115588648
SCE1	-	-	0.56	-	0.135541426
SCE2	-	-	0.44	-	0.106708046
SCS1	-	-	-	0.54	0.104122932
SCS2	-	-	-	0.46	0.090410095

Fuente: Autores

- ✓ El análisis de sensibilidad del primer escenario, aumentando un 50% la calificación del criterio cercanía, deja a la alternativa Roldanillo, como la mejor opción de localización para la línea de empaque de aguacate Hass con un (30.1%), por encima de Bolívar (25.6%), La Unión (23.7%) y Zarzal (20.6%).

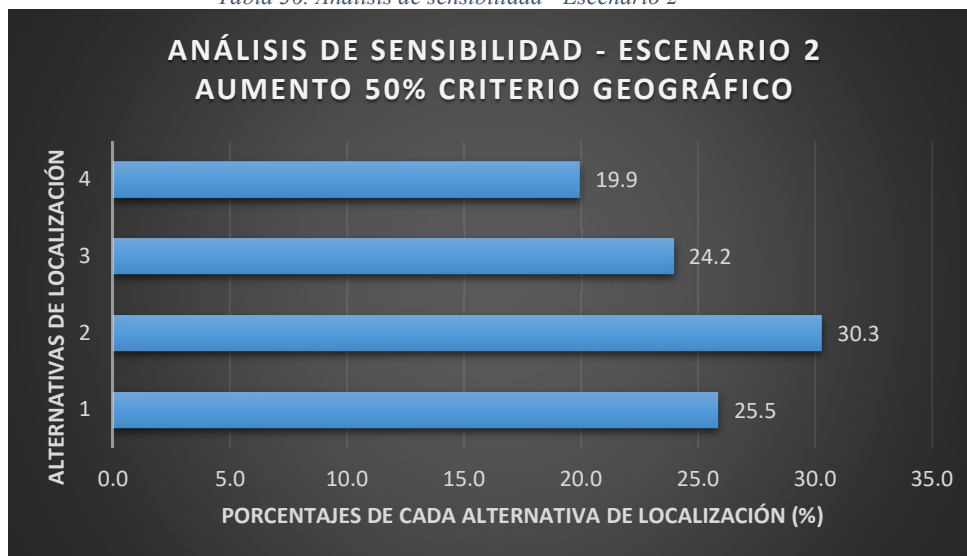
Tabla 35. Análisis de sensibilidad - Escenario 1



Fuente: Autores

- ✓ El análisis de sensibilidad del segundo escenario, aumentando un 50% la calificación del criterio geográfico, deja a la alternativa Roldanillo, como la mejor opción de localización para la línea de empaque de aguacate Hass con un (30.3%), por encima de Bolívar (25.5%), La Unión (24.2%) y Zarzal (19.9%).

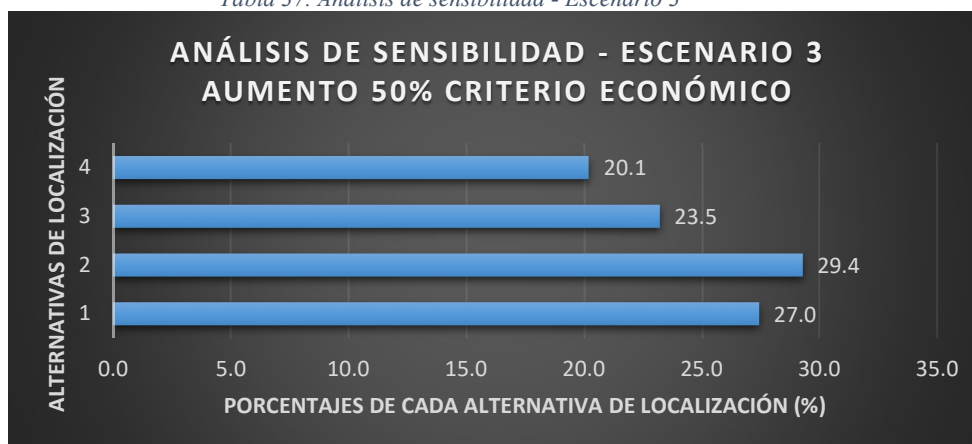
Tabla 36. Análisis de sensibilidad - Escenario 2



Fuente: Autores

- ✓ El análisis de sensibilidad del tercer escenario, aumentando un 50% la calificación del criterio económico, deja a la alternativa Roldanillo Valle, como la mejor opción de localización para la línea de empaque de aguacate Hass con un (29.4%), por encima de Bolívar (27%), La Unión (23.5%) y Zarzal (20.1%).

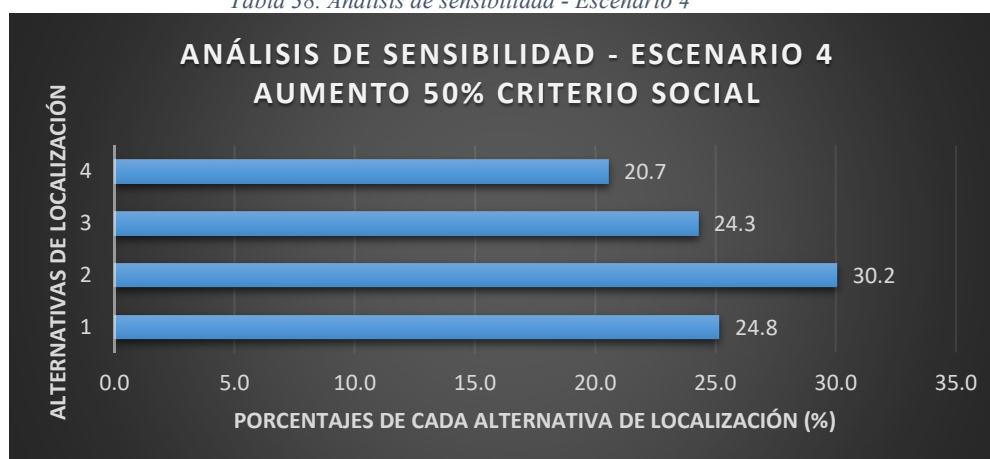
Tabla 37. Análisis de sensibilidad - Escenario 3



Fuente: Autores

- ✓ El análisis de sensibilidad del cuarto escenario, aumentando un 50% la calificación del criterio social, deja a la alternativa Roldanillo, como la mejor opción de localización para la línea de empaque de aguacate Hass con un (30.2%), por encima de Bolívar (24.8%), La Unión (24.3%) y Zarzal (20.7%).

Tabla 38. Análisis de sensibilidad - Escenario 4



Fuente: Autores

- ✓ Finalmente, se realiza una tabla resumen con todas las estadísticas más importantes sobre cada uno de los escenarios del análisis de sensibilidad.

Tabla 39. Resumen de los escenarios del análisis de sensibilidad

Escenario	Criterio Cercanía [%]	Criterio Geográfico [%]	Criterio Económico [%]	Criterio Social [%]	Preferencia Alternativa 1er lugar [%]	Preferencia Alternativa 2do lugar [%]	Preferencia Alternativa 3er lugar [%]
Estado Inicial	35	22	24	19	A2 = 29.9	A1 = 25.6	A3 = 23.9
C. Cercanía 50%	52	16	18	14	A2 = 30.1	A1 = 25.6	A3 = 23.7
C. Geográfico 50%	31	32	21	16	A2 = 30.3	A1 = 25.5	A3 = 24.2
C. Económico 50%	31	18	36	15	A2 = 29.2	A1 = 27.4	A3 = 23.2
C. Social 50%	31	18	21	29	A2 = 30.2	A1 = 24.8	A3 = 24.3

Fuente: Autores

8 CONCLUSIONES

- ✓ El trabajo de investigación desarrollando el modelo multicriterio AHP, arroja que la mejor alternativa de localización de instalación según las valoraciones dadas por los expertos para la línea de empaque de aguacate Hass, para la región norte vallecaucana es Roldanillo (29.9%), con un margen de 4.3% sobre la segunda alternativa Bolívar (25.6%), la consistencia en los datos recopilados es de 0.02.
- ✓ La comparación de los criterios de manera general, dio como resultado que los criterios de cercanía y económico son los mejores evaluados por los expertos con un (35%) y (24%), además, de los dos subcriterios cercanía a proveedores y cercanía a corredor logístico con (20.3%) y (14.3%).
- ✓ Para concluir, cabe resaltar la valiosa importancia del modelo multicriterio basado en AHP para problemáticas como la localización de instalaciones de nuevas plantas agroindustriales de productos perecederos en el contexto de la selección de varios expertos, puesto que ayuda a determinar cuándo es necesario volver a realizar alguna encuesta, es decir, cuando algún experto no es consistente en su valoración, esto por medio del coeficiente de consistencia “CC” que no puede ser mayor a 0.10.

9 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdel Halim Hiassat, A. D. (2010). *Problema de Localización Inventario Enrutamiento*. 386–391.
- Acuavalle S.A E.S.P. (2020a). *Tarifas proyectadas acueducto municipio Bolívar Valle*. 20.
- Acuavalle S.A E.S.P. (2020b). *Tarifas proyectadas acueducto municipio de Roldanillo Valle*. 20.
- Acuavalle S.A E.S.P. (2020c). *Tarifas proyectadas acueducto municipio de Zarzal Valle*. 20.
- Acuavalle S.A E.S.P. (2020d). *Tarifas proyectadas acueducto municipio La Unión Valle*. 20.
- Ambiente, Agricultura y Pesca, S. (2018). *INFORME A LA ASAMBLEA DEPARTAMENTAL Proposiciones No. 002 del 05 de marzo de 2018*. 2015(002), 38. www.valledelcauca.gov.co
- Bacalla, J. S., Caballero, M. L., & Fiestas, A. C. (2014). Modelo del proceso jerárquico analítico para optimizar la localización de una planta industrial. *Industrial Data*, 17(2), 112. <https://doi.org/10.15381/idata.v17i2.12056>
- Bareño, F. (2014). *Estado actual y perspectivas de la cadena del aguacate en Colombia*.
- Carro, R., & González, D. (2004). *Administración de las Operaciones*. 1–29.
- CELSIA. (2021). *Tarifas - Celsia Colombia*. 07, 6.
- Chen, X., Cong, & Zong. (2012). An Improved Genetic Algorithm for Location Problem of Logistic Distribution Center for Perishable Products. *International Asia Conference on Industrial Engineering and Management Innovation (IEMI2012)*, 1699–1708. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-38445-5>
- Colombia Productiva. (2019). *Cuatro razones que explican el buen momento del aguacate Hass colombiano*. <https://www.colombiaproductiva.com/ptp-comunica/noticias/cuatro-razones-que-explican-el-buen-momento-del-ag>
- Cortés Rodríguez, J. P. (2019). *Estudio de caso sobre los factores claves exitosos en la exportación de productos agrícolas hacia estados unidos “aguacate Hass colombiano.”* 29. <https://repository.ucc.edu.co/handle/20.500.12494/16985>
- Duarte Duarte, J., Ortiz Pimiento, N., & Garavito Hernández, E. (2005). Modelo heurístico - matemático para la localización de instalaciones industriales. *Revista UIS Ingenierías*, 4(1), 9–15.
- Eiselt, H. A. (1992). Location Modeling in Practice. *American Journal of Mathematical and Management Sciences*, 12(1), 3–18. <https://doi.org/10.1080/01966324.1992.10737322>
- Etemadnia, H., Goetz, S. J., Canning, P., & Tavallali, M. S. (2015). Optimal wholesale facilities

- location within the fruit and vegetables supply chain with bimodal transportation options: An LP-MIP heuristic approach. *European Journal of Operational Research*, 244(2), 648–661. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.01.044>
- García, J. (2006). Tema 5: Localización de instalaciones. *Diseño de Sistemas Productivos y Logísticos*, 1–29. http://jpgarcia.webs.upv.es/?page_id=16
- García, N. (2021a). *Entrevista a Ing. Carlos Henao*.
- García, N. (2021b). *Entrevista a jefe de camiones*.
- Gobernación del Valle del Cauca. (2021). *Municipios del norte del Valle*. <https://www.valledelcauca.gov.co/publicaciones/216/municipios/>
- Jouzdati, J., Sadjadi, S. J., & Fathian, M. (2013). Dynamic dairy facility location and supply chain planning under traffic congestion and demand uncertainty: A case study of Tehran. *Applied Mathematical Modelling*, 37(18–19), 8467–8483. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2013.03.059>
- Klose, A., & Drexl, A. (2005). Facility location models for distribution system design. *European Journal of Operational Research*, 162(1), 4–29. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2003.10.031>
- Marulanda, V., Leguizamon, & Niño, K. (2017). Solución al problema de localización (CFLP) a través de búsqueda tabú y relajación Lagrangeana, caso de estudio: Industria de Productos Alimentarios. *Solución Al Problema de Localización (CFLP) a Través de Búsqueda Tabú y Relajación Lagrangeana, Caso de Estudio: Industria de Productos Alimentarios*, 4(2), 55–61. <https://doi.org/10.18566/puente.v4n2.a07>
- Meng, Q., Huang, Y., & Cheu, R. L. (2009). Competitive facility location on decentralized supply chains. *European Journal of Operational Research*, 196(2). <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2008.03.030>
- Mincomercio. (2019). *Productores de aguacate Hass colombiano podrán exportar a Japón desde el 31 de julio*. Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. <https://www.mincit.gov.co/prensa/noticias/comercio/productores-de-aguacate-hass-colombiano-podran-exp>
- Ministerio de Agricultura. (2018). *Cadena de aguacate*. [https://sioc.minagricultura.gov.co/DocumentosContexto/A1232-Bullets aguacate Septiembre_.pdf](https://sioc.minagricultura.gov.co/DocumentosContexto/A1232-Bullets_aguacate_Septiembre_.pdf)
- Ministerio de Agricultura. (2020). *Cadena productiva Aguacate*. [https://sioc.minagricultura.gov.co/Aguacate/Documentos/2020-12-31 Cifras Sectoriales.pdf](https://sioc.minagricultura.gov.co/Aguacate/Documentos/2020-12-31%20Cifras%20Sectoriales.pdf)
- Montoya, J., Aponte, A., & Rosas, P. (2010). *Procedimiento de búsqueda voraz adaptativo probabilista para un problema monoproducto de localización de instalaciones no capacitado*.

- Neungmatcha, W., Sethanan, K., Gen, M., & Theerakulpisut, S. (2013). Adaptive genetic algorithm for solving sugarcane loading stations with multi-facility services problem. *Computers and Electronics in Agriculture*, 98, 85–99. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2013.07.016>
- Ordoñez, L. E. (2013). Localización y distribución de plantas agroindustriales. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53, Issue 9). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Osorio, J., & Orejuela, J. (2008). El proceso de análisis jerárquico y la toma de decisiones multicriterio. *Red de Revistas Científicas de América Latina, El Caribe, España y Portugal, XIV*(39), 247–252. <https://www.redalyc.org/pdf/849/84920503044.pdf>
- Planeación, D. N. de. (2020a). Valle del Cauca. *Bolívar Valle Del Cauca*, 882, 1–25. <https://doi.org/10.2307/j.ctv14jx8t3>
- Planeación, D. N. de. (2020b). Valle del Cauca. *Roldanillo Valle Del Cauca*, 882, 1–25. <https://doi.org/10.2307/j.ctv14jx8t3>
- Planeación, D. N. de. (2020c). Valle del Cauca. *La Unión Valle Del Cauca*, 882, 1–25.
- Planeación, D. N. de. (2020d). Valle del Cauca. *Zarzal Valle Del Cauca*, 882, 1–25. <https://doi.org/10.2307/j.ctv14jx8t3>
- Procolombia. (2021). *Primera exportación de aguacate colombiano a Corea del Sur sale el 17 de mayo*. Procolombia. <https://procolombia.co/noticias/colombia-hoy/primera-exportacion-de-aguacate-colombiano-corea-del-sur-sale-el-17-de-mayo>
- Rendón, F. (2018). Historia de la Empresa. In 2018.
- Sanabria, L. A., Peralta Lozano, A. M., & Orjuela, J. A. (2017). Facility Location Models in Perishable Agri-Food Chains: a Review. *Ingeniería*, 22(1), 65. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.reving.2017.1.a04>
- Soto-de la Vega, D., Vidal-Vieira, J. G., & Vitor-Toso, E. A. (2014). Metodología para localización de centros de distribución a través de análisis multicriterio y optimización. *DYNA (Colombia)*, 81(184), 28–35. <https://doi.org/10.15446/dyna.v81n184.39654>
- Spark, W. (2016a). *El clima en Bolívar, el tiempo por mes, temperatura promedio (Colombia)*. <https://es.weatherspark.com/y/21515/Clima-promedio-en-Bolívar-Colombia-durante-todo-el-año>
- Spark, W. (2016b). *El clima en La Unión, el tiempo por mes, temperatura promedio (Colombia)*. <https://es.weatherspark.com/y/21528/Clima-promedio-en-La-Unión-Colombia-durante-todo-el-año>

- Spark, W. (2016c). *El clima en Roldanillo, el tiempo por mes, temperatura promedio (Colombia)*.
<https://es.weatherspark.com/y/21524/Clima-promedio-en-Roldanillo-Colombia-durante-todo-el-año>
- Spark, W. (2016d). *El clima en Zarzal, el tiempo por mes, temperatura promedio (Colombia)*.
<https://es.weatherspark.com/y/21518/Clima-promedio-en-Zarzal-Colombia-durante-todo-el-año>
- Travadelo. (2017). *FRUTÍCOLAS DEL CENTRO DE SANTA FE , ARGENTINA*. 23(3080).
<https://www.redalyc.org/pdf/1992/199252873009.pdf>
- Valle, C. M. B. (2005). *Acuerdo No 010 30/Noviembre/2005* (p. 86).
- Valle, C. M. L. U. (2004). *Acuerdo No. 011 2/Noviembre/2004*. 011, 1–79.
- Valle, C. M. R.-. (2013). *Acuerdo No. 029 10/Septiembre/2013*. 029, 1–155.
- Valle, C. M. Z. (2009). *Acuerdo No. 266 03/Diciembre/2009* (p. 19).
- Valle del Cauca, T. (2018a). *La Unión la capital vitícola de Colombia*.
<https://turismovalledelcauca.com/la-union-capital-viticola-colombia/>
- Valle del Cauca, T. (2018b). *Roldanillo la tierra del alma*.
<https://turismovalledelcauca.com/roldanillo-tierra-del-alma/>
- Viñuales, M. F. (2015). *Métodos de decisión multicriterio AHP y PROMETHEE aplicados a la elección de un dispositivo móvil*. Universidad de Sevilla.
- Yang, K., Liu, Y., & Yang, G. (2013). An improved hybrid particle swarm optimization algorithm for fuzzy p-hub center problem. *Computers and Industrial Engineering*, 64(1), 133–142.
<https://doi.org/10.1016/j.cie.2012.09.006>
- Zhao, X., & Dou, J. (2011). A hybrid particle swarm optimization approach for design of agri-food supply chain network. *Proceedings of 2011 IEEE International Conference on Service Operations, Logistics and Informatics, SOLI 2011, Dc*, 162–167.
<https://doi.org/10.1109/SOLI.2011.5986548>
- Zhi-lin, & Dong, W. (2007). *Location Model of Agricultural Product Distribution Center*. 45(7), 117–120. <https://doi.org/10.1201/b16077>

10 ANEXOS

- ✓ [Anexo 1. AHP](#)
- ✓ [Anexo 2. Experto 1](#)
- ✓ [Anexo 3. Experto 2](#)
- ✓ [Anexo 4. Experto 3](#)
- ✓ [Anexo 5. Experto 4](#)
- ✓ [Anexo 6. Experto 5](#)
- ✓ [Anexo 7. Experto 6](#)