

**ZONIFICACIÓN DE TIERRAS POTENCIALES PARA CULTIVO DE AGUACATE  
HASS MEDIANTE EL USO DE SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA  
EN EL DEPARTAMENTO EN EL QUINDIO**

**Brilli Karine Largo Guzmán**

Propuesta de trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de  
Especialista en Sistema de Información Geográfico

Director (a):

Ph.D. Jose Fernandez

Línea de Investigación:

Territorios Inteligentes y Sostenibles

Universidad de Manizales

Facultad de Ciencias e Ingeniería

Especialización en Sistemas de Información Geográfica

Manizales, 2024

## TABLA DE CONTENIDO

### Contenido

<b>RESUMEN .....</b>	<b>5</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>6</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>7</b>
<b>JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>9</b>
<b>METODOLOGÍA .....</b>	<b>12</b>
<b>5. ANTECEDENTES .....</b>	<b>13</b>
<b>6. PROCEDIMIENTO .....</b>	<b>18</b>
<b>RESULTADOS .....</b>	<b>35</b>
<b>IMPACTOS GENERADOS .....</b>	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>
<b>DESAFÍOS Y OPORTUNIDADES .....</b>	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>40</b>
<b>1. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>42</b>

### Tabla de ilustraciones

Ilustración 1.....	30
Ilustración 2.....	31
Ilustración 3.....	32
Ilustración 4.....	33
Ilustración 5.....	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 6.....	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 7.....	¡Error! Marcador no definido.

### Lista de tablas

Tabla 1.....	20
Tabla 2.....	20
Tabla 3.....	22
Tabla 4.....	23
Tabla 5.....	27
Tabla 6.....	28
Tabla 7.....	29
Tabla 8.....	29
Tabla 9.....	35
Tabla 10.....	37
Tabla 11.....	¡Error! Marcador no definido.



## Resumen

En Colombia es esencial la creación de lineamientos para el manejo sostenible del suelo y de políticas de planificación estratégica, basadas estas en las condiciones agroecológicas de la región para el control de la subutilización y sobreutilización de tierras agrícolas y ganaderas (problemática recogida en datos por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi), logrando así una reorganización de tierras para la mejora de la productividad, el rendimiento óptimo de los cultivos y un uso adecuado de los recursos naturales.

En el departamento del Quindío se encuentran numerosos predios que presentan cultivos de aguacate Hass, estos cultivos se establecen sin tener en cuenta los diferentes tipos de suelo más adecuados para su óptimo manejo, además de los diversos impactos ambientales que estos generan. Por esta razón, se plantea la elaboración de una zonificación para el cultivo de aguacate Hass empleando los Sistemas de Soporte a la Decisión (DSS) y los Sistemas de Información Geográfica (SIG), que combinan los datos geográficos con los atributivos (espaciales y no espaciales), proporcionando una representación digital de la realidad geográfica.

Esta zonificación agroecológica, además de tomar en cuenta las diferentes características geomorfológicas, climáticas y ambientales. Para la asignación de los tipos de suelo más adecuados, desempeña un papel fundamental en el establecimiento de directrices acordes al cuidado ambiental y a la reducción de la contaminación durante el ciclo de producción, identificándose como resultado de ello las zonas más aptas para este tipo de cultivo.

### **Abstract**

In Colombia, it is essential to create sustainable soil management guidelines and planning policies strategic based on the regional agroecological conditions that control the agricultural and livestock land underutilization and overutilization (a problem collected in data from the Agustín Codazzi Geographic Institute), thus achieving a land reorganization to improve productivity, optimal crop yields and an adequate natural resources use.

In Quindío department there are numerous farms cultivated with Hass avocado without taking into account the most suitable soil types for its cultivation and the environmental impact that this is generating. For this reason, the zoning elaboration for the Hass avocado cultivation is proposed using Decision Support Systems (DSS) and Geographic Information Systems (GIS), which combine geographic data with attributive and provide a digital geographic reality representation.

This agroecological zoning, in addition to considering the different geomorphological, climatic, economic, cultural, etc. characteristics for the most suitable soil types of assignment, plays a fundamental role in the guidelines establishment in accordance with environmental care and the pollution reduction during the production cycle, identifying as a result, the most suitable areas for this type of crop.

## 1. Introducción

El aguacate Hass (*Persea americana*) se encuentra en continua expansión en el territorio colombiano debido al incremento de su demanda mundial anual de “1,4%, con un aumento esperado de una tasa anual de 6,2% de 2017 a 2027” (Viera, y otros, 2023). Este incremento ha permitido su rápida adopción en los diversos municipios y departamentos, modificando y adecuando ciertas zonas (predios) para su cultivo y manejo.

En Colombia se cultiva en su gran mayoría las variedades de aguacate “criollo – nativo” de la raza antillana con mayor concentración en la región de la costa atlántica. El aguacate injerto de clima frío (Hass, Reed y Fuerte) se encuentran en su gran mayoría en el departamento de Antioquia, norte del Tolima y el oriente de caldas, identificándose establecimientos importantes en el Cauca, Huila, Cundinamarca, Santander y Risaralda. El papelillo (de las variedades Lorena, Trinidad, Santana, Choquete, Booth), presentan mayor incidencia en la región centro - occidente, en departamentos como Caldas, Risaralda, Valle del Cauca, Tolima, Quindío y Santander (Viera, y otros, 2023).

En la actualidad, existen en el territorio alrededor de 5.500 hectáreas de aguacate Hass, sobresaliendo las regiones (en orden de importancia por su área sembrada) de Antioquia con 2.300 hectáreas; Tolima con 2.000 hectáreas sembradas; el departamento del Cauca, con 420 hectáreas en cinco municipios (sembradas por igual número de agricultores dentro del proyecto USAID – CCI – INCODER) y 780 en los departamentos del Eje Cafetero (Quindío, Caldas y Risaralda), Valle del Cauca y Santander (Viera, y otros, 2023).

Aunque Colombia dispone de áreas con buenas condiciones agroecológicas no todas son aptas para la siembra de las distintas especies de aguacate. El departamento del Quindío (acorde a los alcances de este trabajo) presenta un uso inadecuado del 34% de su territorio; 25% en sobreutilización y 9,5% en subutilización (FOLU Colombia, 2019), derivando con ello en conflictos por la división de áreas productivas, actividades económicas y distribución poblacional,

aspectos que impactan de manera significativa a nivel social, ambiental y económico de la región. Sumado a ello, la desactualización en los Planes de Ordenamiento Territorial (POT) dejan a la vista las evidentes dificultades en la definición clara de las áreas urbanas, rurales, fronteras agrícolas, construcción, entre otras.

Dicho lo anterior, gracias a que las principales regiones productoras (Antioquia, Caldas, Quindío, Risaralda, Valle del Cauca, Huila y Tolima) presentan factores que favorecen la producción nacional e internacional, como temperaturas que oscilan entre 17°C y 24°C y altitudes que varían desde los 1.200 hasta los 2.500 m.s.n.m. (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2019). La instauración de este tipo de cultivo de importación ha generado una serie de impactos desde la falta de planificación territorial, los conflictos de ordenamiento y la producción no controlada de monocultivos, hasta la afectación directa en los suelos y demás componentes socio naturales de las regiones. (Del Rio Rivera, 2023)

Aunado a los problemas de organización territorial, el modelo de producción del aguacate Hass presenta similitudes con cultivos como el café, aceite de palma, azúcar, harina integral y soya al basarse en la práctica de monocultivo, repercutiendo de manera negativa en el suelo, agotando sus nutrientes y haciéndolo más propenso a enfermedades. Como consecuencia, se requiere el uso intensivo de agroquímicos para mantener su producción, generando una cantidad considerable de residuos que afectan el medio ambiente (Álvarez Vélez & Monsalve, 2019), teniendo además un impacto significativo en la biodiversidad y ecosistemas locales.

En el caso específico del monocultivo de aguacate Hass, la adquisición de tierras para su producción ocurre en áreas estratégicas para el recurso hídrico<sup>1</sup>, lo que resulta en una mayor presión sobre los bienes hídricos del departamento. Cabe resaltar que, según estudios realizados por González & Giraldo (2021), se necesitan 4.945 litros de agua para producir un kilogramo de

---

<sup>1</sup> Son áreas definidas por la Corporación Autónoma Regional del Quindío (CRQ), en los instrumentos de ordenación, a las cuales se les asigna dicha categoría por la oferta de bienes y servicios ambientales.

aguacate Hass en el área de estudio ubicado en el departamento del Quindío, lo cual es considerablemente alto y equivalente a 2,5 veces la media mundial.

Por ende, en pro de mejorar el rendimiento de la siembra de aguacate Hass y los conflictos por su siembra en el departamento, es de suma importancia caracterizar y analizar las áreas productoras actuales y potenciales las cuales “son el insumo básico para la planificación, ejecución y seguimiento de los proyectos productivos y además aportan para la priorización de las agendas de investigación, generación, transferencia de tecnología; la asistencia técnica y producción agroindustrial de este frutal” (Gallo, Gallego, & Zuluaga, 2011).

Gracias a este enfoque, la producción sostenible de aguacate puede beneficiarse significativamente del uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y Sistemas de Soporte de Decisiones (SSD), herramientas que proporcionan información y análisis espaciales para la toma de decisiones informadas sobre la ubicación de los cultivos, manejo del agua, prevención de enfermedades, optimización de la logística y evaluación del impacto ambiental, disminuyéndose con ello los impactos sociales y ambientales en el departamento.

### **Justificación**

El cultivo de aguacate Hass en Colombia ha experimentado un auge significativo en las últimas décadas, convirtiéndose en uno de los principales productos agrícolas del país. El Departamento del Quindío, reconocido por su clima templado y condiciones favorables para la agricultura, no ha sido ajeno a este fenómeno. Sin embargo, a pesar de las oportunidades que ofrece, el cultivo del aguacate Hass en esta región enfrenta diversos desafíos relacionados con el uso y distribución de suelos.

En el Quindío, el cultivo del aguacate Hass enfrenta un apremiante desafío: la competencia por el uso de suelo con actividades agrícolas tradicionales. La disponibilidad limitada de tierras fértiles, la creciente demanda para la expansión urbana y la disponibilidad y/o accesibilidad de suelos con las características específicas necesarias para este tipo de cultivo, han generado una serie de conflictos la apropiación de la tierra. Esta situación restringe la expansión del cultivo y presenta desafíos en la selección de ubicaciones idóneas para su producción. Paralelamente esta competencia por el uso del suelo ha creado un desequilibrio en la producción alimentaria en el Quindío, lo que ha llevado a la importación del 55.8% de los alimentos de departamentos como Tolima, Valle del Cauca y Risaralda, entre otros. (Departamento Administrativo de Planeación, 2024)

A pesar de las ventajas climáticas y ambientales del Quindío, el uso intensivo de agroquímicos y la erosión del suelo afectan negativamente la gestión sostenible de las tierras. Pese a las estrategias de adaptación y a la implementación de tecnologías avanzadas, el cultivo de aguacate Hass en el Quindío sigue enfrentando desafíos relacionados con la sostenibilidad y el impacto ambiental, por ello, es importante mitigar estos impactos, garantizar la continuidad del cultivo y la sostenibilidad y crecimiento de esta industria en la región. Esto incluye la implementación de políticas de uso de suelo adecuadas, el fomento de prácticas agrícolas sostenibles y la promoción de la capacitación y tecnología entre los agricultores locales.

Para un mejor abordaje, se requiere implementar un enfoque de manejo sustentable que considere las condiciones agroecológicas de la región y promueva políticas y estrategias adecuadas. De esta manera, se aprovecha el potencial productivo de las áreas (en base a características y potencialidades específicas del suelo), garantizándose mejores resultados en las cosechas y un uso óptimo de los recursos naturales. Por ello, es fundamental definir áreas óptimas de cultivo con un apoyo técnico de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y Sistemas de Soporte de Decisiones (SSD). Que tengan en cuenta las condiciones agroecológicas de la región quindiana (combinaciones particulares de clima y características del suelo); determinen las interrelaciones entre el suelo y factores relacionados con su uso: selección de cultivos adecuados,

prácticas de manejo agrícola y conservación (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 1997).

Tomando como punto de partida la información que brindan estos sistemas, el proyecto se centra en determinar las zonas de producción óptimas para el cultivo de aguacate Hass en el departamento del Quindío mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y Sistemas de Soporte de Decisiones (SSD), para el fomento del desarrollo agrícola sostenible y eficiente en la región, del cual se desprenden cinco objetivos específicos:

1. Definir los requerimientos funcionales y no funcionales para un modelo de análisis multicriterio.
2. Recopilar datos geospaciales de aptitud agrícola en el departamento de Quindío relacionados con el cultivo de aguacate Hass.
3. Identificar y delimitar zonas con mayor potencial de cultivo de aguacate Hass en el departamento del Quindío.
4. Analizar los datos obtenidos (topografía, suelo, clima y otros factores biofísicos) para evaluar la aptitud agrícola de las tierras en el Quindío en relación con el cultivo de aguacate Hass.
5. Generar un mapa de zonificación agroecológica del cultivo de aguacate Hass mediante la evaluación multicriterio.

## Metodología

La presente investigación tiene como objetivo principal establecer una zonificación agroecológica que permita identificar las áreas óptimas para el cultivo de aguacate en el departamento del Quindío. Para lograr este propósito, se emplea una metodología inductiva que parte de información geográfica existente y de análisis multivariado cualitativo.

El enfoque de la investigación es mixto, combinando la interpretación contextual con el análisis de información numérica y no numérica, determinando con ello las zonas adecuadas y no adecuadas en la producción de aguacate.

Este abordaje mixto implica analizar el contexto agroecológico del Quindío y evaluarlo a través de datos tanto cuantitativos como cualitativos, lo que permite una comprensión más completa y profunda de las condiciones que influyen en el cultivo de aguacate Hass en la región.

### 4.1. Diseño de Investigación

No experimental. Dado que no se manipulan deliberadamente variables en un entorno controlado, se opta por un diseño de investigación no experimental. El análisis se centra en el estudio de las variables físicas presentes en el departamento del Quindío que podrían afectar el desarrollo del cultivo de aguacate.

### 4.2. Técnicas Empleadas

1. **Evaluación Multicriterio:** para considerar múltiples factores y criterios relevantes en la zonificación agroecológica. Esto permite tomar decisiones informadas y ponderar diferentes aspectos que afectan al cultivo.

2. **Sistema de Información Geográfica (SIG):** para recopilar, analizar y visualizar datos geográficos y espaciales. Esto facilita la identificación de patrones y la delimitación de áreas propicias para el cultivo de aguacate.
3. **Modelo AHP (Análisis Jerárquico de Procesos):** para la toma de decisiones al desglosar el proceso en diferentes niveles jerárquicos. Esto ayuda a evaluar y comparar criterios de manera estructurada y sistemática.

## 5. Antecedentes

Los sistemas SIG a lo largo de los años han venido facilitado la evaluación precisa y detallada de las condiciones de los suelos, uniendo a la vez diferentes variables para la generación de mapas temáticos que permitan identificar zonas con las mejores condiciones agroecológicas para cada cultivo.

Para el año 2012 Campos realizó la zonificación de aguacate Hass en la cuenca del río Duero (México), al ser este el principal productor de aguacate en el mundo (seguido por Chile, Estados Unidos, Indonesia, República Dominicana, Colombia y Perú) (Gallo, Gallego, & Zuluaga, 2011), definiendo zonas aptas de cultivo mediante técnicas geoestadísticas y multivariadas, tomándose en cuenta en ellas los factores climáticos, edáficos y topográficos que influyen en el crecimiento y desarrollo del frutal.

Pineda & Suárez, durante el año 2014 diseñaron un Sistema de Información Geográfica (SIG) definiendo aquellas variables consideradas esenciales para la zonificación de cultivos: geopedológicos (geomorfología y suelos), climatología (isoyetas e isotermas) y los requerimientos edafoclimáticos de los cultivos:

- En cuanto al clima el aguacate requiere una temperatura media anual de 18 a 25°C; una humedad relativa del aire de 60 al 80%; y una precipitación anual de 800 a 1,500 mm con distribución uniforme a lo largo del año.
- A nivel edafológico el aguacate requiere suelos profundos, bien drenados y con pH entre 5.5 y 7.5; una alta capacidad de retención de agua y buena disponibilidad de nutrientes, pudiendose cultivar en pendientes de hasta el 30%, siempre y cuando se tomen medidas para evitar la erosión del suelo, hablando en factores de nivel topográfico.

Para la región colombiana, las condiciones ambientales para la producción de aguacate son muy similares: en cuanto al clima, se identifican zonas cálidas y húmedas con temperatura media anual de 22 a 24°C y una precipitación anual de 1.500 a 2.000 mm; presenta suelos que con posibilidad de siembra a profundidad mínima de 1,5 metros, textura franco - arcillosa y pH entre 5,5 y 6,5; además de áreas de cultivo ubicadas en pendientes suaves, con altitud entre 800 y 1.800 m.s.n.m. (Zambrano et al. 2022).

La necesidad de información sobre el territorio, desde la gestión hasta las labores de planificación requieren información geográfica; base para disminuir los riesgos a los que está sometida la agricultura. Colombia al contar con zonas con condiciones agroecológicas óptimas para el cultivo de aguacates Hass, emprendedores con iniciativa y energía, proximidad a mercados especializados y la infraestructura requerida para la exportación del producto, produciendo para el 2020 en el mercado internacional “67,072 toneladas de la denominación Hass” (Monsalve, Agudelo, & Echeverri, 2020, pág. 3).

Según Jorge Enrique Restrepo, director ejecutivo de CorpoHass, la industria tiene la meta de exportar 40% más para 2023 y 50% más para 2024 (Muñoz, 2022), sin embargo, el colectivo Eco Génova lanzó, “una voz de alerta por un enorme daño ambiental generado por monocultivos

de aguacate Hass, que ya ha destruido ecosistemas y desplazado una amplia diversidad de cultivo” (Rodríguez, 2023).

El departamento del Quindío se localiza en la cuenca hidrográfica del Río la Vieja presentando extensas áreas de conservación y protección que abarcan elementos de suma importancia para el medio ambiente. Con base al Acuerdo 004 de 2008, se establecen Áreas de Producción Agrícola sin Restricciones para esta cuenca, las cuales cubren un total de 38,484 hectáreas; adecuadas para la producción de diversos cultivos agrícolas gracias a las características de sus suelos.

Estas se dividen en dos clases agrologicas (II y III) cada una con distintas particularidades y limitaciones para su explotación y con usos permitidos en estas zonas que abarcan desde cultivos permanentes o temporales, limpios y semilimpios así como otros de procedimientos productivos densos (Corporación Autónoma Regional del Quindío, 2010).

Teniendo en cuenta los aspectos físicos y agroecológicos del aguacate, una óptima planificación de su cultivo para el Quindío debe considerar los determinantes ambientales que hacen referencia a normas y documentos técnicos asociados a la delimitación de áreas protegidas, ecosistemas estratégicos, humedales, POMCAS y corredores biológicos; determinantes que buscan proteger y conservar los recursos naturales, ecosistemas estratégicos, promover un uso sostenible y la prevención de riesgos y desastres ambientales (Henao García, 2022).

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se han convertido en herramientas fundamentales para el análisis y la toma de decisiones en la agricultura y el manejo del suelo. En el contexto del cultivo de aguacate Hass en el Departamento del Quindío, el uso de SIG puede ser esencial para abordar los desafíos de distribución, ordenamiento y uso adecuado de suelos. A continuación, se presentan algunos conceptos que exploran cómo los SIG pueden ser aplicados en este contexto:

Definición de SIG: Sistema de Información Geográfica (SIG). Es una herramienta tecnológica que permite la captura, almacenamiento, procesamiento, análisis y visualización de datos geoespaciales, es decir, información relacionada con la ubicación y la geografía de un área determinada.

Datos Geoespaciales: incluyen información cartográfica, como mapas, coordenadas geográficas y atributos asociados a ubicaciones específicas. En el caso del cultivo de aguacate Hass, estos datos pueden incluir la topografía, la calidad del suelo, el clima y la infraestructura agrícola.

Zonificación del Suelo: identificación de áreas óptimas para el cultivo de aguacate Hass en función de factores como la textura del suelo, el drenaje y la profundidad del mismo. Esto ayuda a los agricultores a tomar decisiones informadas sobre dónde plantar.

Ordenamiento del Cultivo: áreas de cultivo de aguacate Hass debidamente planificadas y con regulaciones ambientales y de uso del suelo.

Gestión de Recursos: gestión eficiente de los componentes naturales, incluyendo agua y energía. Proporcionan datos sobre la disponibilidad y demanda en áreas específicas de cultivo.

Sensores Remotos: recolección de datos geoespaciales actualizados sobre las condiciones del cultivo y el estado de los suelos a través de tecnologías como sensores remotos, imágenes satelitales y drones.

Modelos de Predicción: estimación del rendimiento del cultivo y evaluación de los riesgos climáticos.

En resumen, los SIG desempeñan un papel crucial en el ordenamiento del cultivo, distribución y uso adecuado de suelos para la siembra de aguacate Hass en el Departamento del Quindío. Estas herramientas tecnológicas ofrecen una visión integral de la geografía y las condiciones del suelo, permitiendo una toma de decisiones más informada y sostenible en el sector agrícola. Su aplicación efectiva puede contribuir al crecimiento y la competitividad de la industria del aguacate en la región, al tiempo que promueve una gestión más responsable de los recursos naturales.

## 6. Procedimiento

Según criterios de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO por sus siglas en inglés) la Zonificación Agroecológica (ZAE) se define como la identificación de áreas con características y limitantes similares. Su aplicación en el ámbito agrícola permite una planificación y gestión eficiente de los sistemas productivos, optimizando con ello el uso de recursos y esfuerzos para el desarrollo en zonas con potencial. Al considerar factores como suelos, fisiografía y clima se crea la zonificación agroecológica (ZAE) centrada en los requerimientos de cultivos y sistemas de manejo, cada una de ellas representa un conjunto de limitaciones y potencialidades para el uso de tierras, lo que brinda recomendaciones para mejorar la producción y conservación de recursos.

Tomando en cuenta lo anterior, se identifican los aspectos físicos que determinan las zonas óptimas para producción, dividiéndolas en 3 condiciones:

### 1. Condiciones geomorfológicas:

- **Relieve y topografía del terreno:** altura de 1.500 hasta los 2.500 m.s.n.m. y laderas con pendientes entre 5 y 30%.
- **Drenaje:** suelos bien drenados.

### 2. Condiciones climáticas:

- **Precipitación anual y distribución a lo largo del año:** 1.500 - 2.000 mm/año. Condición importante ya que al presentarse una precipitación demasiada baja la planta puede sufrir estrés hídrico (afectando su crecimiento y producción) y si es demasiado alta, puede sufrir daños por exceso de agua, (afectando su sistema radicular y crecimiento).
- **Temperatura media anual y variabilidad estacional:** 18 - 20°C; cuando la temperatura es demasiado baja la planta presenta daño en sus tejidos (ralentizando su

crecimiento) y cuando es demasiado alta experimenta estrés térmico (afectando su crecimiento y producción).

### 3. Condiciones edáficas:

- **Textura del suelo:** francos, franco - arcillosos y franco – arenosos.
- **Profundidad efectiva del suelo:** suelos con profundidad efectiva y nivel freático superiores a 1m, con texturas livianas que favorezcan la formación de un sistema radicular denso y muy ramificado (Avilán et al., 1989).
- **PH del suelo:** ligeramente alcalinos o ácidos (con promedio entre 5,5 y 7,5).

Con base a estas recomendaciones para la mejora en la producción y conservación de recursos se divide la investigación en tres fases.

## 6.1. Fase 1. Recolección de Información

Se utilizan entidades oficiales para adquirir información geo-espacial como el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y la Corporación Autónoma Regional del Quindío (CRQ). Además, de utilizar otros referentes bibliográficos como la guía de Zonificación Agroecológica de la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) que trabajan con la misma metodología de análisis multivariado y la técnica para ponderar- Evaluación Multicriterio AHP por Escala de Saaty, entre otros referentes.

Se determinan los requerimientos funcionales y no funcionales para el modelo, teniendo en cuenta las diferentes variables obtenidas, donde las funcionales son las características principales y esenciales del modelo. En cambio, las no funcionales son los criterios que pueden influir en el modelo, pero no están directamente relacionados con las funciones específicas.

**Tabla 1**

Requerimientos funcionales y no funcionales que influyen en el modelo.

Capas	Requerimientos	
	Requerimientos no funcionales	Requerimientos funcionales
PH		Información de referencia para la construcción del mapa de zonificación de áreas óptimas.
Altura		
Temperatura		
Precipitación		
Humedad relativa		
Vocación del suelo		
Clima		
Usos recomendados		
Características del relieve		
Características generales		
Relieve		
Paisaje		
Consociaciones		
Drenajes simples		
Topografía del suelo		
Aptitud agroclimática		
Pendiente		
Clasificación climática Caldas -Lang		
Infraestructura vial	Sobreponer las capas para tener orientación de las locaciones en el territorio físico.	
Centros urbanos		
Velocidad del viento		Información de referencia para la construcción del mapa de zonificación de áreas óptimas.
Susceptibilidad a MRM		
Limite municipal	Sobreponer las capas para tener orientación de las locaciones en el territorio físico.	
Limite veredal		
Limite departamental		
Mapa base del departamento		

Así mismo, se categorizaron las consociaciones en el Quindío mediante un estudio semidetallado del suelo, que incluyó características como el pH, drenaje, fertilidad y familia textural. Esto permitió determinar diversas categorías de suelos en el departamento. (INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI, 2024)

**Tabla 2**

Categorizaron de consociaciones.

Consociaciones	Altitud	Clima	T	Familia Textural	PH	Precipitación	Uso Actual	Fertilidad	Drenaje
Frailejones	3600 - 2400	Frio Pluvial	4 a 6 °C	Franco Arenosa	5	500 - 2000 mm	Conservación	Baja	Bien Drenado
Chili	3600 - 2400	Frio Húmedo	4 a 8 °C	Franco Arenosa	5	Menores a 2000 mm	Ganadería	Baja	Bien Drenado
Juntas	3600 - 4200	Frio Húmedo	4 a 8 °C	Franco Arenosa	6	500 - 2000 mm	Conservación	Baja	Bien Drenado
La Línea	3000 - 3600	Frio Húmedo	8 a 12°C	Franco Arcillo Arenosa	6	1000 - 2000 mm	Ganadería	Alta	Bien Drenado
San Juan	3000 - 3600	Frio Húmedo y muy húmedo	8 a 12°C	Franco Arenosa	5	500 - 2000 mm	Ganadería	Baja	Bien Drenado
El Vergel	2000 - 3000	Frio Húmedo y muy húmedo	12 a 18°C	Franco Arcillo Arenosa	5	1000 a 4000 mm	Agroforestería	Moderada	Bien Drenado
La Maizena	2000 - 3000	Frio Húmedo y muy húmedo	12 a 18°C	Franca	5	1000 a 4000 mm	Ganadería	Baja	Bien Drenado
El Escobal	2000 - 3000	Frio Húmedo	12 a 18°C	Franca	5	2000 a 4000 mm	Ganadería	Baja	Bien Drenado
Cumaral	2000 - 3000	Frio Muy Húmedo	12 a 18°C	Franca	5	2000 a 4000 mm	Reforestación y Ganadería	Baja	Bien Drenado
Cocora	2000 - 3000	Frio Muy Húmedo	12 a 18°C	Franco Arenosa	5	2000 a 4000 mm	Ganadería	Baja	Moderado Drenado
Calicanto	1000 - 2000	Templado Muy Húmedo	18 a 24°C	Franco Arenosa	6	1000 a 2000 mm	Agrícola	Moderada	Bien Drenado
Guayaquil	1000 - 2000	Templado Muy Húmedo	18 a 24°C	Franco Arenosa	5	2000 a 4000 mm	Agrícola	Moderada	Bien Drenado
Pedregales	1000 - 2000	Templado húmedo	18 a 24°C	Franco Arcillosa	5	1000 a 2000 mm	Ganadería	Moderada	Bien Drenado
Los Tangos	1000 - 2000	Templado Muy húmedo	18 a 24°C	Franca	6	2000 a 4000 mm	Agrícola	Moderada	Bien Drenado
La Honda	1000 - 2000	Templado húmedo	18 a 24°C	Franco Limosa	5	1000 a 4000 mm	Ganadería	Baja	Bien Drenado
Los Alpes	1000 - 2000	Templado húmedo	18 a 24°C	Franco Arcillo Arenosa	5	1000 a 4000 mm	Agrícola	Moderada	Bien Drenado
Casa Blanca	1000 - 2000	Frio húmedo y muy húmedo	18 a 24°C	Franca	6	1000 a 4000 mm	Agrícola	Moderada	Bien Drenado
El Roble	2095	Frio Muy húmedo	Igual o mayor 18°C	Franco Arcillosa Arenoso	5	2618 mm	Agrícola	Baja	Bien Drenado

La Esperanza	1461 - 1848	Templado o muy húmedo	18 a 24°C	Franca	5	igual o mayor que 1000 mm	Ganadería	Baja	Bien Drenado
Membrilla	1294 - 1895	Templado o húmedo	18 a 24°C	Franco Arcillo Arenosa	5	igual o mayor que 1000 mm	Conservación	Baja	Bien Drenado
El Cafetal	1211	Templado o húmedo	18 a 24°C	Franco Arcillo Arenosa	6	2000 mm	Ganadería	Moderada	Bien Drenado
Padilla	1075 - 2000	Templado o húmedo	18 a 24°C	Franco Arcillosa	6	1000 a 2000 mm	Conservación y Ganadería	Moderada	Bien Drenado
Quindío	1000 - 2000	Templado o húmedo	18 a 24°C	Franco Arenosa	5	1000 a 2000 mm	Ganadería	Moderada	Imperfectos Drenado
Pisamal	1000 - 2000	Templado o húmedo	18 a 24°C	Arenosa Franca	7	1000 a 2000 mm	Sin Uso	Baja	Excesivamente Drenado
Nuevo Horizonte	1000 - 2000	Templado o húmedo	Igual o mayor 18°C	Franco Arcillo Limosa	5	1000 a 2000 mm	Agricultura	Moderada	Moderado Drenado
La Rivera	>2000	Templado o húmedo	18 a 24°C	Franca	6	1000 a 2000 mm	Ganadería	Alta	Pobremente Drenado

## 6.2. Fase 2. Organización y clasificación de información

Se seleccionan los datos que representan utilidad para el modelo, en este caso las variables son: zonas de vida de (Caldas - Lang), temperatura, precipitación, susceptibilidad geológica, ecosistemas, pendientes y Consociaciones. Se agrupa la información en una base de datos con *feature class* y *dataset*.

**Tabla 3**

Datos que representan utilidad para el modelo.

Variables del Modelo				
Variable	Nivel de Aptitud al Cultivo			
	Óptimo	Medio	Bajo	No Aplica

Zonas de Vida (Caldas - Lang)	Templado Húmedo	Frio Húmedo/ Templado Seco	Frío seco	Extremadamente frio seco/ Muy frio Seco/Nival Seco
Ecosistemas	Cultivos anuales o transitorios del zonobioma alterno híbrido y/o subxerofítico tropical del Valle del Cauca/Cultivos anuales o transitorios.	Pastos del orobioma bajo de los Andes/Pastos del orobioma alto de los Andes/Áreas agrícolas heterogéneas del orobioma alto de los Andes.	Áreas urbanas del orobioma bajo de los Andes/Arbustales del orobioma alto de los Andes/Arbustales del orobioma medio de los Andes.	Herbazales del orobioma alto de los Andes/Bosques naturales del orobioma bajo de los Andes/Bosques naturales del orobioma alto de los Andes.
susceptibilidad geológica	Áreas de llanuras extensas distanciadas de piedemontes montañosos con precipitación variable.	Áreas de paisajes llanos con baja a nula pendiente con depósitos recientes y precipitación variable. / Áreas de colinas y piedemontes con pendientes bajas, rocas poco meteorizadas y baja precipitación. Baja susceptibilidad asociada a inestabilidad por actividades antrópicas.	Áreas de baja montaña con pendientes medias, rocas moderadamente meteorizadas y precipitación intermedia. Piedemontes montañosos con procesos de flujos, inestabilidad y deslizamientos.	Áreas montañosas de pendiente alta con rocas meteorizadas, alta fragmentación por fallas, alta precipitación y ocurrencia de procesos de recaptación, deslizamientos y flujos.
Precipitación	2000 a 2500 mm	1000 mm a 1500 mm & 2500 mm a 3000 mm	< 1000 mm y > 4000 mm	Precipitaciones por fuera de los Rangos
Temperatura	22°C - 24°C 20°C - 22°C	12 °C - 16°C	8 °C - 12°C	< 8 °C
Clases Agrológicas	Clase 3 y 4	Clase 1	Clase 2	Clase 5, 6, 7 y 8
Pendiente	0% - 25%	25% - 50%	50%-75%	> 75%
Consociaciones (símbolos)	CO, GP, LT, LA, CS Y NH	EV, CU, PE, LH y EC	EZ, M, P, Q, PI y LR	F, C, J, LL, SJ, LM, ES, CC Y RB

### 6.3. Fase 3. Procesamiento de la Información

Se diseña y aplica un modelo para delimitar áreas óptimas, teniendo en cuenta las condiciones geomorfológicas, climáticas y edafológicas.

**Tabla 4**  
Áreas óptimas

Variabes	Criterios	Factores	Atributos	Valoración	Fuente
Cartografía Base	Limites Administrativos	Municipios	Limites Municipales		

Cobertura vegetal	Región Biogeográfica	Zonas de vida (Caldas Lang)	<p>Piso térmico cálido (1): Entre 0 y 1.000 m, con valores superiores a 24°C y un margen de altitud en el límite superior hasta 400 m, según sea las características locales</p> <p>Piso Térmico Templado (2): Comprende altitudes situadas entre 1.000 y 2.000 m, con temperaturas mayores o iguales a 17,5°C y con un margen de amplitud en sus límites superiores e inferior de 500 m.</p> <p>Piso Térmico Frio (3): se localiza entre 2.000 y 3.000 m de altitud.</p> <p>Piso Térmico Paramuno (0): corresponde a las áreas situadas sobre los 3.000 m de altitud y bajo el límite de las nieves perpetuas. Con el propósito de detallar más las condiciones climáticas se subdivide en dos zonas de paramo: Paramo Bajo, de mayor temperatura, con altitud que oscila entre 3.200 y 3.700 m y que se caracteriza por estar en el intervalo de los 7 a los 12°C. Paramo Alto, de los 3.700 m a los 4.200, aproximadamente.</p>	<p>Valor Optimo (Templado): 3</p> <p>Valor Medio (Cálido): 2</p> <p>Valor Bajo (Frio): 1</p> <p>Valor muy bajo:0</p>	CRQ
		Ecosistemas		<p>Valor Optimo (A): 3</p> <p>Valor Medio: (X): 2</p> <p>Valor Bajo (F): 1</p> <p>N/A</p> <p>(G,P,M,Z,C,I): 0</p>	IGAC
Clima	Condiciones Atmosféricas	Precipitación	<p>Precipitación Optima: 1200 mm a 1800 mm</p> <p>Precipitación Moderada: 1000 mm a 1200 mm y 1800 mm a 2000 mm</p> <p>Precipitación baja: inferiores a 1000 mm y superiores a 2000 mm</p>	<p>Valor Optimo: 3</p> <p>Valor Medio: 2</p> <p>Valor Bajo: 1</p>	CRQ

		Temperatura	Temperatura óptima (TO): 19 °C a 21,5°C Temperatura moderada (TM): 17 °C a 19°C - 21,5 °C a 23°C Temperatura deplorable (TD): 15 °C a 17°C - 23 °C a 25°C	Valor Optimo (TO): 3 Valor Medio (TM): 2 Valor Bajo (TD): 1	
Suelo	Edafología	Clases Agrologicas	(1) cultivos limpios (2) Inundación leve (3) cultivos óptimos (4) Plantaciones forestales (5) Áreas Inundables No cultivos (6) Plantación forestal y silvo pastoriles (7) Proteccion de suelos (8) Proteccion de suelos	Valor Optimo (C 3 y 4): 3 Valor Medio (C 1): 2 Valor Bajo (C 2): 1 No Aplica (C5,C7,C8 Y C6): 0	IGAC
		Pendiente	A nivel 0 – 1 % Plana 0 - 3 % Ligeramente plana 1 – 3 % Ligeramente inclinada 3 – 7 % Moderadamente inclinada 7 – 12 % Fuertemente inclinada 12 – 25 % ligeramente escarpada o L. empinada 25 – 50 % moderadamente escarpada o M. empinada 50 – 75 % Fuertemente escarpada o F. empinada > 75 %	Valor Optimo (0% - 25%) Valor medio (25% - 50%) Valor Bajo (50%-75%) Valor Nulo: (>75)	IGAC
		Susceptibilidad			

		Consociaciones			IGAC
		Frailejones	(F)	Valor Optimo	
		Chili	(C)	(CO, GP, LT,	
		Juntas	(J)	LA, CS Y	
		La Línea	(LL)	NH): 3	
		San Juan	(SJ)	Valor	
		El Vergel	(EV)	Moderado	
		La Maizena	(LM)	(EV, CU, PE,	
		El Escobal	(ES)	LH y EC):	
		Cumaral	(CU)	2	
		Cocora	(CC)	Valor Bajo	
		Calicanto	(CO)	(EZ, M, P, Q,	
		Guayaquil	(GP)	PI y LR):	
		Pedregales	(PE)	1	
		Los Tangos	(LT)	No Aplica (F,	
		La Honda	(LH)	C, J, LL, SJ,	
		Los Alpes	(LA)	LM, ES, CC Y	
		Casa Blanca	(CB)	RB)	
		El Roble	(RB)		
		La Esperanza	(EZ)		
		Menbrillal	(M)		
		El Cafetal	(CF)		
		Padilla	(P)		
		Quindío	(Q)		
		Pisamal	(Pi)		
		Nuevo Horizonte	(NH)		
		La Rivera	(LR)		

Frailejones	(F)	Guayaquil	(GP)
Chili	(C)	Pedregales	(PE)
Juntas	(J)	Los Tangos	(LT)
La Línea	(LL)	La Honda	(LH)
San Juan	(SJ)	Los Alpes	(LA)
El Vergel	(EV)	Casa Blanca	(CB)
La Maizena	(LM)	El Roble	(RB)
El Escobal	(ES)	La Esperanza	(EZ)
Cumaral	(CU)	Menbrillal	(M)
Cocora	(CC)	El Cafetal	(CF)
Calicanto	(CO)	Padilla	(P)

Quindio	(Q)	Nuevo Horizonte	(NH)
Pisamal	(Pi)	La Rivera	(LR)

Se destina la construcción de las diversas variables empleadas en el modelo de estimación para zonas óptimas, estableciendo rangos óptimos, medios, bajos y zonas restringidas de labor productivo para el departamento del Quindío.

Como prioridad se emplea el Modelo AHP que permite evaluar la inconsistencia del decisor a la hora de emitir sus juicios. Estableciendo pesos en cada una de las variables anteriormente descritas, se facilita la ponderación y posterior proceso en los pasos lógicos del modelo sobre la zonificación; para ello se emplea la escala de evaluación proporcionada por Saaty (Escala de Evaluación En AHP) y se determinan los parámetros para la calificación en la Matriz de Ponderación de las variables:

**Tabla 5**

Parámetros para calificación en Matriz.

<b>Escala de Evaluación en AHP</b>	
<b>Valor</b>	<b>Escala de Saaty (1990)</b>
	<b>Significado</b>
9	A es extremadamente más importante que B
7	A es mucho más importante que B
5	A es más importante que B
3	A es levemente más importante que B
1	A y B tienen la misma importancia
2, 4, 6, 8	Valores intermedios entre dos juicios adyacente.

Para la construcción de la matriz de ponderación se establecen las variables descritas en la Tabla N.º 1. Estas variables se colocan en la parte superior (Punto A) y en el costado izquierdo (punto B), con el fin de confrontarlas, determinando el grado de importancia y su correlación con cada una de ellas.

**Tabla 6**

Grado de importancia y correlación entre variables.

Matriz de Ponderación de Variables												
Variables	Consociaciones	Ecosistemas	Clases Agrologicas	Temperatura	Precipitación	Pendiente	Susceptibilidad	Zonas de Vida (Caldas - Lang)	Total	( $\Sigma x_j / n$ )	Peso relativo	Peso (%)
Consociaciones	1.0	7.0	5.0	2.0	2.0	3.0	5.0	2.0	27.0	3.9	0.24	24.3
Ecosistemas	0.1	1.0	5.0	3.0	3.0	3.0	5.0	2.0	22.1	3.2	0.20	19.9
Clases Agrologicas	0.2	0.2	1.0	3.0	3.0	2.0	3.0	5.0	17.4	2.5	0.16	15.7
Temperatura	0.5	0.3	0.3	1.0	2.0	1.0	1.0	3.0	9.2	1.3	0.08	8.3
Precipitación	0.5	0.3	0.3	0.5	1.0	3.0	5.0	5.0	15.7	2.2	0.14	14.1
Pendiente	0.3	0.3	0.5	1.0	0.3	1.0	5.0	1.0	9.5	1.4	0.09	8.6
Susceptibilidad	0.2	0.2	0.3	1.0	0.2	0.2	1.0	3.0	6.1	0.9	0.06	5.5
Zonas de Vida (Caldas - Lang)	0.5	0.5	0.2	0.3	0.2	1.0	0.3	1.0	4.1	0.6	0.04	3.7
$\Sigma (\Sigma x_j / n)$										15.9	1.0	100.0

El análisis que surge de esta comparación generó que las variables Consociaciones (24.3), Clases Agrologicas (15.7) y ecosistemas (19,9) fuesen más relevantes para el desarrollo de la producción de aguacate Hass en el departamento del Quindío. De esta manera, se generan los «pesos» para cada factor a partir de una matriz de comparaciones por pares y se determina su impacto para esta región.

El resultado se obtiene al resolver la matriz de la Tabla N.º 7 y el mapa de zonificación de para el departamento del Quindío.

**Tabla 7**

Resultado comparación de variables.

<b>VARIABLES DE APTITUD PARA EL CULTIVO</b>		
<b>VARIABLES</b>	<b>Peso relativo</b>	<b>Peso (%)</b>
Consociaciones	0.243076395	24.30763954
Ecosistemas	0.199348367	19.93483666
Clases Agrologicas	0.156649233	15.66492326
Temperatura	0.082525937	8.252593672
Precipitación	0.141044328	14.10443282
Pendiente	0.08552688	8.552687988
Susceptibilidad	0.055217354	5.521735403
Zonas de Vida (Caldas - Lang)	0.036611506	3.661150647
<b>Total</b>	1.0	100.0

### 6.3.1. Ponderación

Los valores para cada capa serán asignados según su importancia para el cultivo óptimo.

La calificación se dará de 0 a 3 de la siguiente forma:

**Tabla 8**

Valores por capa.

<b>Valoración</b>	
Zona restringida	0
Bajo	1
Medio	2
Óptimo	3

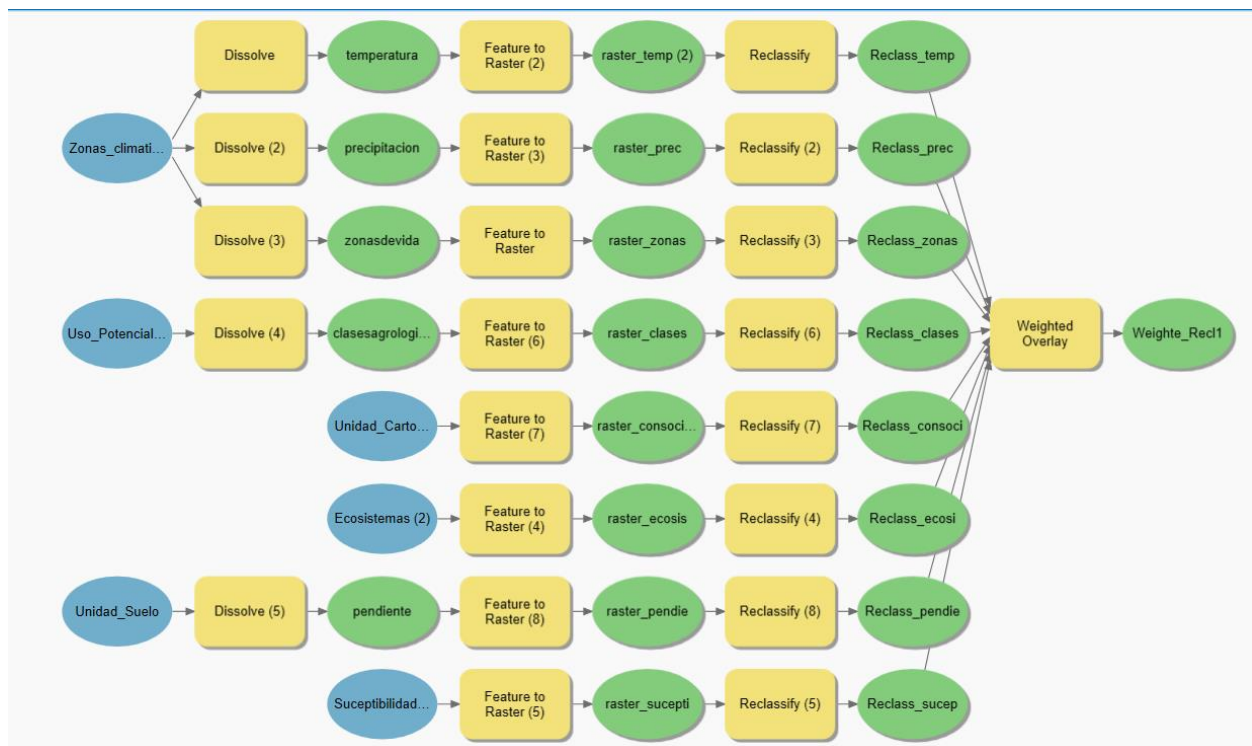
### 6.3.2. Superposición de las capas

Son estimadas mediante la herramienta de ArcGIS Weighted Overlay que permite asignar porcentajes de influencia a cada variable. Cabe aclarar que todas las capas se encuentran en el sistema de Coordenadas Magna Colombia Oeste y se reclasificará cada una de ellas.

Se realiza el *ModelBuilder*:

#### Ilustración 1

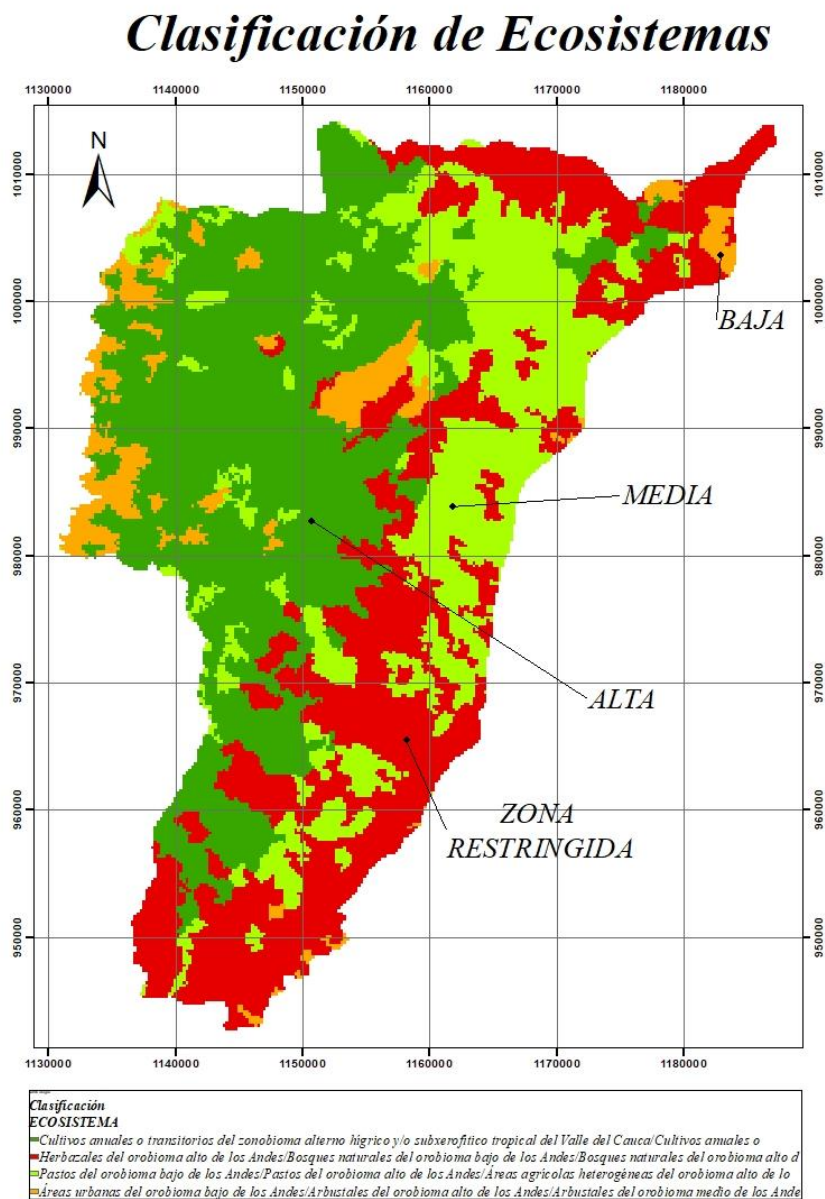
ModelBuilder.



Se seleccionan las capas de interés, asignando a cada una diferentes valores de ponderación o importancia de acuerdo a su influencia directa sobre la producción de aguacate Hass para obtener resultados más reales.

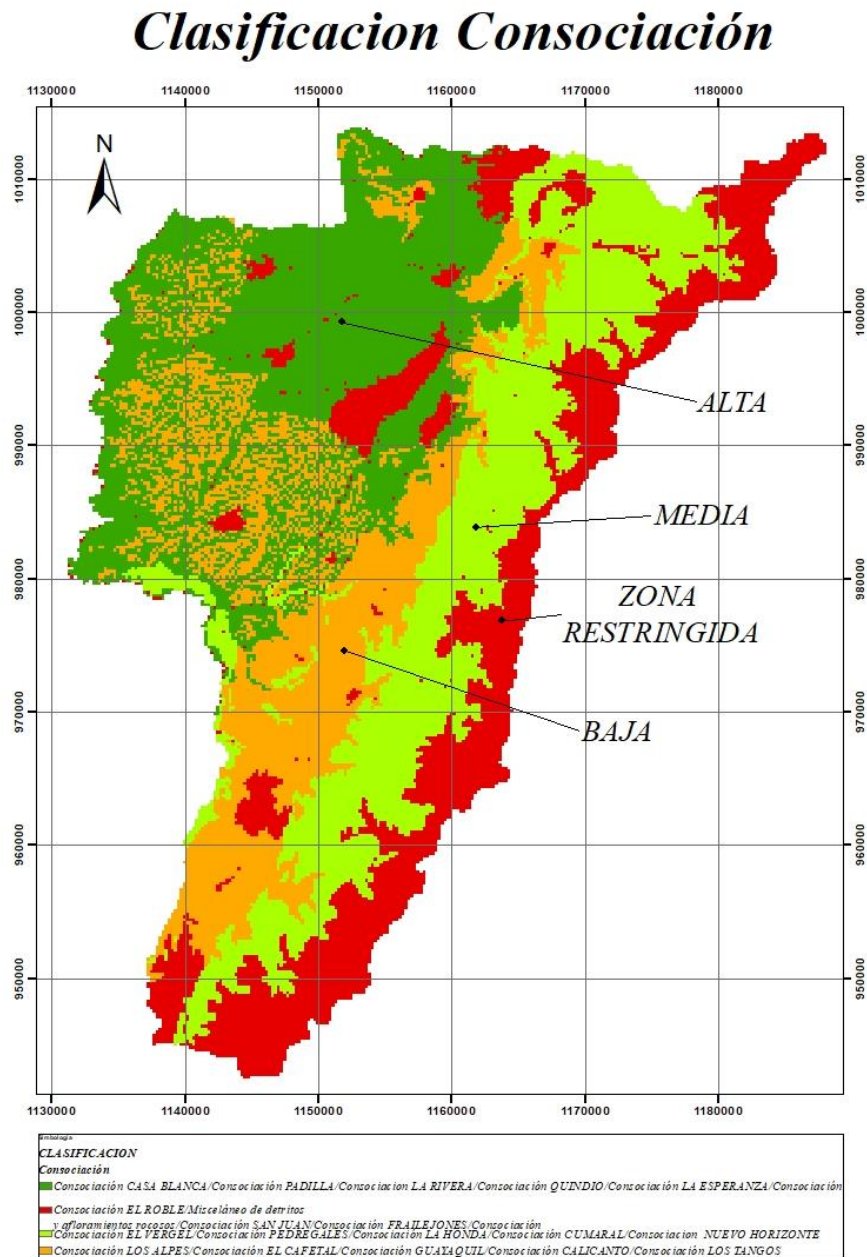
## Ilustración 2

Capas de ecosistemas.



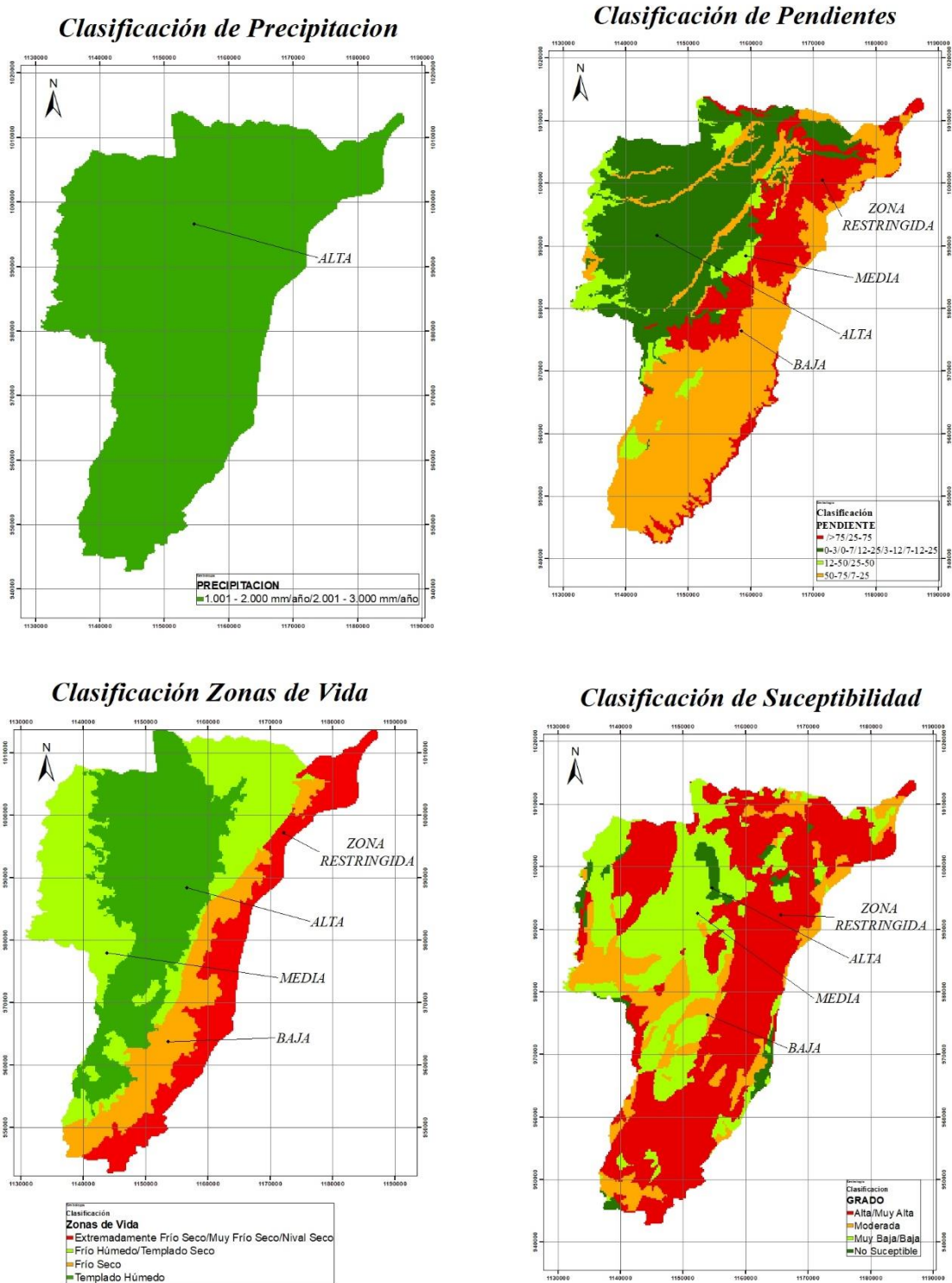
**Ilustración 3**

Capas de consociación



### Ilustración 4

Capas de precipitación, pendientes, zonas de vida y susceptibilidad.



#### **6.4. Fase 4. Análisis de la información**

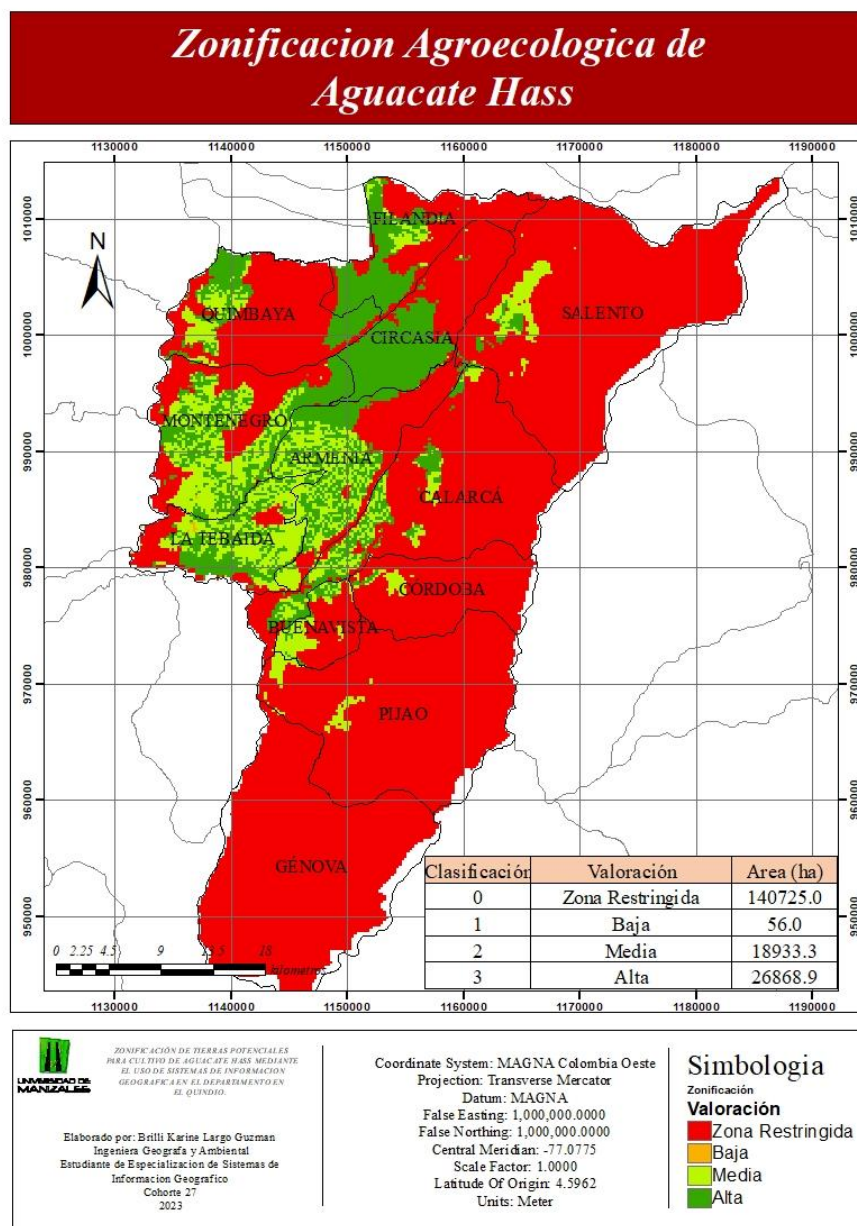
Se determinan las zonas agroecológicas del departamento del Quindío para el cultivo de aguacate Hass:

## Resultados

**Tabla 9**

Zonas agroecológicas.

Clasificación	Valoración	Área (ha)	%
0	Zona Restringida	140725.0	72.74
1	Baja	56.0	0.03
2	Media	18933.3	9.79
3	Alta	26868.9	13.89



En la búsqueda de un desarrollo sostenible y eficiente de la producción agrícola en Colombia, se vuelve esencial considerar la zonificación del uso del suelo como una herramienta fundamental. En este contexto, el cultivo de aguacate Hass, con su creciente importancia económica y demanda en los mercados nacionales e internacionales, se convierte en un candidato destacado para el análisis y la planificación de la distribución de tierras agrícolas.

El propósito principal de la zonificación del uso del suelo es la separación de áreas que presenten similitudes en cuanto a las potencialidades y limitaciones específicas para el cultivo adecuado del aguacate Hass. Para lograr este objetivo, se han considerado parámetros particulares que permiten a la zonificación ser un punto de referencia crítico para mejorar la utilización y distribución de tierras con fines de producción agrícola.

Uno de los beneficios clave de esta zonificación es la capacidad de dirigir de manera más precisa los tipos de suelo que son más propicios para el cultivo de aguacate Hass. Al tomar en cuenta las características específicas del suelo requerido para la producción de este cultivo, se facilita enormemente la asignación de tierras adecuadas, lo que a su vez puede mejorar significativamente la eficiencia y rentabilidad de la agricultura del aguacate en Colombia.

Para este estudio en particular se determina que el total de área destinada para la producción óptima del cultivo de aguacate al interior del departamento es de 26868.9 Ha (14,4 %) con respecto al resto, esto permite focalizar zonas de mayor potencial que permitirá establecer cultivos de aguacate con condiciones óptimas para su manejo, control, seguimiento y posterior cosecha. A teniendo a las consideraciones, parámetros y clasificaciones contempladas anteriormente.

Seguidamente se establecen los municipios, que por sus condiciones físicas, climatológicas, unidades cartográficas (Consociaciones) y zonas de vida expuestas son los más favorables para este tipo de cultivo. (ver **Tabla N°10**)

**Tabla 10**

Municipios aptos para cultivo de aguacate Hass.

Municipios Aptos	Área (ha) determinada	%	Clases – Uso de suelo	Consociaciones presentes
Quimbaya	2728.38	20.4321	Clases 2, 3, 4 y 7	Casa Blanca, El Cafetal, Padilla
Tebaida	3065.62	33.7414	Clases 2, 3, 4, 5 y 7	Nuevo horizonte, El cafetal, Padilla, Casa Blanca
Filandia	3608.72	38.1306	Clase 4, 6, 7 y 8	La esperanza, Los Alpes, Padilla, Menbrillal,
Montenegro	4795.27	31.9252	Clases 2, 3, 4 y 7	Padilla, El Cafetal, Casa Blanca
Circasia	4923.34	49.3041	Clases 3, 4 y 7	Menbrillal, La esperanza

El análisis identifica las consociaciones comunes entre estos municipios debido a sus similitudes físicas y unidad cartográfica. Se destacan tres consociaciones con mayor probabilidad de sostener eficientemente el cultivo de aguacate en estos municipios.

### 1. La consociacion Padilla

La consociación Padilla abarca áreas de varios municipios, incluyendo Armenia, Buenavista, Calarcá, Circasia, Córdoba, Montenegro, Quimbaya y La Tebaida. Se sitúa en los taludes del paisaje de piedemonte, con pendientes que van desde moderadamente inclinadas hasta fuertemente escarpadas. Cubre una extensión de 20.230,41 hectáreas, representando el 10,48% del área total del departamento. Los suelos son profundos, bien drenados y ligeramente ácidos, con fertilidad moderada, formados por depósitos torrenciales volcánicos. Debido a las fuertes pendientes y la erosión hídrica, se recomienda mantener el suelo cubierto, evitando cultivos limpios y ganadería. Se sugieren prácticas como la incorporación de residuos orgánicos, la apertura de zanjas en curvas para el drenaje y el establecimiento de barreras vivas. Además, el cultivo de especies requiere la aplicación de varios nutrientes como nitrógeno, fósforo, azufre, boro, zinc y cobre. (INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI, 2024)

## 2. La consociación Cafetal

La unidad cartográfica Cafetal abarca áreas de varios municipios, incluyendo Armenia, Buenavista, Calarcá, Circasia, Córdoba, Filandia, La Tebaida, Montenegro y Quimbaya, en varias veredas. Se encuentra en los planos de abanico moderadamente disectado de piedemonte, con sectores de relieve plano y ligeramente ondulado. Cubre una extensión de 15.461,13 hectáreas, representando el 8,01% del área total del departamento. Situada a una altitud de 1.211 metros, en clima templado húmedo, con suelos profundos y bien drenados de origen volcánico. La cobertura vegetal ha sido reemplazada por cultivos de cítricos, plátano y pastos para ganadería, con algunos relictos de guadua y nogal. La consociación está compuesta principalmente por suelos Typic Hapludands y Fluvaquentic Humaquepts. Las limitaciones para el uso y manejo de estos suelos son ligeras, debido a las pendientes ligera y moderadamente inclinadas. Se recomienda la fertilización con nitrógeno, fósforo, azufre y microelementos. (INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI, 2024)

## 3. Consociación Casa Blanca

Esta unidad se encuentra en los municipios de Quimbaya, Montenegro y La Tebaida, ocupando las cimas y laderas de las lomas y colinas del lomerío. Con pendientes que varían desde fuertemente inclinadas hasta moderadamente escarpadas, cubre una extensión de 5.013,61 hectáreas, representando el 2,60% del área total de estudio. Ubicada a altitudes entre 1.000 y 2.000 metros, en climas templados húmedos y muy húmedos, correspondientes a las zonas de vida bosque húmedo premontano y bosque muy húmedo premontano. Los suelos, originados de arcillolitas y conglomerados, son profundos, bien drenados y ligeramente ácidos, con fertilidad moderada. El uso actual es principalmente agrícola, con especies maderables como balso, yarumo, guadua y cedro en la vegetación natural. Las limitaciones principales para el uso y manejo de estos suelos son las pendientes pronunciadas y la presencia de horizontes argílicos, lo que requiere un manejo especial en la preparación del suelo y puede restringir la actividad radicular de algunas

plantas. El mal manejo de la actividad pecuaria puede causar erosión hídrica y movimientos de remoción en masa. Se recomienda mejorar las propiedades físicas del suelo mediante el enriquecimiento con materia orgánica y la práctica de enterrar abonos verdes. Los programas de fertilización deben priorizar la aplicación de nitrógeno, fósforo, potasio, azufre y micronutrientes. (INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI, 2024)

### **Clases Agrologicas – Uso del suelo.**

Un aspecto fundamental a resaltar es la diversidad de clases agroecológicas en los municipios mencionados, donde predominan las clases 3 y 4. Estas clases representan condiciones con importantes limitaciones para la agricultura. La Clase III, caracterizada por labores permanentes limitadas, enfrenta serios riesgos de erosión y suelos aceptables, pero con fertilidad media o baja. Las pendientes son moderadas, requiriendo un manejo específico para evitar la erosión, como fajas o terrazas. Además, hay restricciones en la elección de cultivos.

En contraste, la Clase IV, con labores permanentes ocasionales, presenta limitaciones aún más severas. La erosión es intensa, los suelos son de mala calidad, someros y con baja fertilidad. Las pendientes son pronunciadas, necesitando un laboreo extremadamente cuidadoso. El cultivo se limita a opciones esporádicas y cuidadosas, como pasto o heno. Estas características destacan la importancia de considerar las condiciones agroecológicas al planificar actividades agrícolas en la región.

## Conclusiones

1. Tras la investigación correspondiente, se implementó una base de datos para administrar datos climáticos y geomorfológicos del Quindío, lo que simplificó la planificación ambiental y la zonificación agrícola. Se determinaron áreas óptimas para el cultivo de aguacate Hass mediante un Sistema de Información Geográfica (SIG), adaptable con nuevas capas de información. Esta zonificación brinda múltiples opciones para los decisores, desde inversiones en tecnología y riego hasta el uso de variedades mejoradas y acceso a mercados estables con precios equitativos.
2. La zonificación agroecológica de los cultivos es esencial para evaluar el uso y la vocación del suelo, lo que permite una planificación y orientación eficiente de los sectores productivos. Este proceso simplifica la toma de decisiones sobre el uso del suelo, destacando el papel crucial del ambiente en la sostenibilidad de los agroecosistemas.
3. La zonificación agroecológica propuesta mejora la organización de las áreas de cultivo al identificar su potencial y optimizar el uso del suelo, lo que aumenta los rendimientos por hectárea. No obstante, su aplicación requiere un levantamiento catastral de las plantaciones en los predios, con el fin de establecer nuevas plantaciones en las zonas más adecuadas y revisar la sustitución de plantaciones antiguas poco productivas o cambios en el uso del suelo, teniendo en cuenta las características biofísicas y las necesidades naturales.
4. La distinción de las zonas agroecológicas para el cultivo implica identificar áreas y unidades de suelo, lo que conlleva la adopción de prácticas prioritarias para la conservación de los ecosistemas cercanos. Además, esto ayuda a aumentar la productividad con una rentabilidad aceptable, siendo crucial para el desarrollo municipal y estatal, que ha enfrentado una continua crisis social y económica, agravada actualmente.



## 1. Bibliografía

- Álvarez Vélez, D. C., & Monsalve, A. P. (2019). *Impactos sociales, ambientales y económicos a través de la producción, comercialización y exportación de aguacate Hass en el Oriente Antioqueño (Colombia)*. 2019: Institución Universitaria Esumer.
- Del Rio Rivera, Y. A. (2023). *Universidad Tecnológica de Pereira*. Obtenido de : <https://repositorio.utp.edu.co/items/76a283f8-0357-4981-ac7e-489d1da18553>
- Departamento Administrativo de Planeación. (01 de Febrero de 2024). *Gobierno del Quindío*. Obtenido de <https://www.quindio.gov.co/home/docs/general/PLAN%20%20SEGURIDAD%20ALIMENTARIA.pdf>
- Dias Lopes, J., Sott, M., Ferrão, C., Furtado, J., & Ribas Moraes, J. A. (2021). Waste Manag Res. *Data mining and knowledge discovery in databases for urban solid waste management: A scientific literature review*, 1331 - 1340.
- Findeter. (28 de Agosto de 2020). *Findeter*. Obtenido de <https://www.findeter.gov.co/noticias/infraestructura/ciudades-sostenibles-y-competitivas>
- Gallo, L. A., Gallego, G. R., & Zuluaga, M. E. (2011). Caracterización Biofísica y socioeconómica del sistema de producción de aguacate cv. Hass en los departamentos de Antioquia, Cladas, Risaralda y Quindío. *Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, CORPOICA*, 97.
- Hannan, M. A. (20 de Diciembre de 2020). Solid waste collection optimization objectives, constraints, modeling approaches, and their challenges toward achieving sustainable development goals. *Journal of Cleaner Production*, 1-17.
- INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI. (05 de Febrero de 2024). *AGRONET*. Obtenido de <https://www.agronet.gov.co/desarrollo-rural/Documents/CalidadDeVida/ESTUDIO%20SEMIDETALLADO%20%20DEL%20%20QUINDIO%20-%2020140310.pdf>
- Kumar, N., Gupta, M., & Jana, A. (2021). Las TIC y su Uso en Sistemas de Recolección de Residuos Sólidos para la Optimización de Rutas. . *Lecture Notes in Civil Engineering*, 121.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (30 de Septiembre de 2019). *Cadena de aguacate en Colombia*. Obtenido de <https://sioc.minagricultura.gov.co/Aguacate/Documentos/2019-09-30%20Cifras%20Sectoriales.pdf>

- Monsalve, S. R., Agudelo, L. X., & Echeverri, P. A. (2020). CARACTERIZACIÓN DE LA CADENA PRODUCTIVA DEL AGUACATE HASS EN EL DEPARTAMENTO DE RISARALDA. (P. d. Comercial, Ed.) *Universidad Libre Seccional Pereira*, 3.
- Muñoz, A. R. (21 de junio de 2022). *Agronegocios*. Obtenido de Agronegocios: <https://www.agronegocios.co/agricultura/se-espera-que-para-2023-las-exportaciones-de-aguacate-crezcan-40-y-para-2024-50-3387973>
- Murray, A. T. (2021). Contemporary optimization application through geographic information systems. *Omega (United Kingdom)*, 1–15.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (1997). *Zonificación agro-ecológica*. ROMA: FAO.
- Pineda Santos, L. D., & Suárez Hernández, J. E. (2014). *Revista Ingeniería Agrícola*. 4(3), 28-32.
- Rodríguez, L. E. (2 de abril de 2023). *Caracol Radio*. Obtenido de Caracol Radio: <https://caracol.com.co/2023/05/28/que-es-el-lulo-de-perro-puede-consumirse/>
- Sallem, R., Serbaji, M. M., Alamri, A. M., Kallei, A., & Trabelsi, I. (2021). Optimal routing of household waste collection using ArcGIS application: a case study of El Bousten district, Sfax city, Tunisia. *Arabian Journal of Geosciences*, 1038.
- Tavares, G., Zsigraiova, Z., & Carvalho, M. G. (2019). Optimisation of MSW collection routes for minimum fuel consumption using 3D GIS modelling. *Waste Management*, 1176–1185.
- Viera, W., Gaona, P., Samaniego, I., Sotomayor, A., Viteri, P., & Noboa, M. (2023). Mineral Content and Phytochemical Composition of Avocado var. Hass Grown Using Sustainable Agriculture Practices in Ecuador. *Gale OneFile: Agriculture*, 12(9). Obtenido de [galelinkgalecom.bd.ucaldas.edu.co/apps/doc/A749233375/PPAG?u=caldas&sid=bookmark-PPAG&xid=69a7de1c](https://www.galelinkgalecom.bd.ucaldas.edu.co/apps/doc/A749233375/PPAG?u=caldas&sid=bookmark-PPAG&xid=69a7de1c)
- Yalcinkaya, s., & Uzer, s. (2022). A GIS-based multi-criteria decision support model for planning municipal solid waste collection points: A case study of Çağdaş Neighbourhood, Çiğli District, Izmir, Turkey. *Waste Management and Research*, 1297–1310.
- Zsigraiova, z., Semiao, v., & Beijoco, F. (2013). Operation costs and pollutant emissions reduction by definition of new collection schedul . *Waste Management*, 793–806.