
EVALUACIÓN DE LA APTITUD DEL SUELO PARA ACTIVIDADES AGRÍCOLAS EN EL MUNICIPIO DE PENSILVANIA, CALDAS, MEDIANTE UN MODELO CONCEPTUAL DE ANÁLISIS ESPACIAL MULTICRITERIO

Ramón Andrés Ballesteros Giraldo, 1058844376, raballesterosg@unadvirtual.edu.co;
Siri Jhoana Córdoba Moreno, 1077476406, sjcordobamo@unadvirtual.edu.co;
Jhon Alexander Lozano Quejada, 1027961212, jalozanoq@unadvirtual.edu.co;
Docente asesor: Gina Carolina Posada, gina.posada@unad.edu.co

Universidad Nacional Abierta y a Distancia/UNAD
Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente /ECAPMA

Resumen. Este estudio evalúa la aptitud del suelo para actividades agrícolas en el municipio de Pensilvania, Caldas, mediante un análisis entidad-relación. Se consideran diversos factores como propiedades del suelo, topografía, clima y uso actual de la tierra, empleando técnicas de Sistemas de Información Geográfica (SIG). La metodología incluye la identificación y categorización bajo el esquema entidad - relación y la integración de las variables en un modelo geoespacial para generar mapas de aptitud agrícola. Los resultados identifican áreas con alto, medio y bajo potencial para la agricultura, proporcionando una herramienta útil para la planificación y gestión sostenible del territorio. Esta evaluación permite optimizar la toma de decisiones, favoreciendo un uso eficiente de los recursos naturales y mejorando la productividad agrícola en la región.

Palabras Clave: Aptitud del suelo, Agricultura, Sistemas de Información Geográfica (SIG), Modelo geoespacial, planificación agroambiental

1 Introducción

La planificación agroambiental del territorio es un componente crucial para el desarrollo sostenible especialmente en regiones con alta actividad agrícola como el municipio de Pensilvania, Caldas; Según Tittonell y Giller (2018), la intensificación ecológica, que aprovecha los servicios ecosistémicos para mejorar la seguridad alimentaria y la resiliencia climática, es una estrategia clave en esta planificación. En este contexto, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se han convertido en herramientas indispensables para la gestión eficiente de los recursos naturales. Los SIG permiten la integración y análisis de datos espaciales y temporales, facilitando la toma de decisiones informadas en la gestión del suelo, agua y otros recursos naturales; según Li y Wen (2019), el uso de los Sistemas de Información Geográfica en la agricultura moderna mejora significativamente la eficiencia en la gestión de los recursos naturales y contribuye al desarrollo sostenible. "En Colombia, la aplicación de los SIG en la planificación agroambiental ha mostrado resultados prometedores.

Martínez et al. (2021) destacan cómo los SIG han sido utilizados para identificar áreas aptas para diversos cultivos, optimizando el uso del suelo y minimizando impactos ambientales negativos. Asimismo, Pérez y Rodríguez (2022) subrayan que los SIG permiten una evaluación detallada de la aptitud del suelo, considerando múltiples variables como la topografía, la calidad del suelo y las condiciones climáticas."

Además, los SIG facilitan la creación de modelos predictivos y escenarios futuros, lo cual es esencial para enfrentar desafíos como el cambio climático y la variabilidad climática (Castaño et al., 2018). Esta capacidad no solo mejora la productividad agrícola, sino que también contribuye a la conservación de los ecosistemas y la biodiversidad Según Hernández et al. (2020).

Los SIG son herramientas poderosas que apoyan la planificación agroambiental al proporcionar una comprensión integral y dinámica del territorio, lo que es fundamental para un desarrollo agrícola sostenible en Colombia y en el mundo.

2 Objetivos

2.1 General

Evaluar la aptitud del suelo para actividades agrícolas en el municipio de Pensilvania, Caldas, mediante un modelo conceptual de análisis espacial multicriterio

2.2 Específicos

Identificar las capas con características ambientales, climáticas y edáficas del municipio de Pensilvania, incluyendo datos de temperatura, tipos de cobertura vegetal, niveles de precipitación y composición del suelo.

Utilizar herramientas de análisis espacial para procesar las capas y generar mapas temáticos que representen la distribución de los distintos factores evaluados en el territorio de Pensilvania.

Identificar las áreas con condiciones óptimas para actividades agrícolas, considerando la integración de los tres componentes (ambiental, climático y edáfico) en el análisis.

Desarrollar un modelo conceptual de análisis espacial multicriterio para evaluar y optimizar la aptitud del suelo en el municipio de Pensilvania, Caldas, mediante técnicas de análisis de Sistemas de Información Geográfica (SIG).

3 Identificación del caso de estudio

Las actividades agropecuarias constituyen un importante sector productivo en el país, no solo por contribuir a las industrias y economía sino por ser la fuente principal de nuestra alimentación y nutrición. Por tal razón, resulta relevante el ordenamiento agroambiental del territorio con el fin de conocer la vocación de los suelos y aprovechar al máximo los recursos disponibles de una manera sostenible que beneficie a la población en general. Según Franco y Pérez (2019), la planificación y gestión sostenible de los recursos agropecuarios es crucial para asegurar la seguridad alimentaria y la resiliencia de las comunidades rurales frente a los desafíos ambientales. Según datos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 2022), el departamento de Caldas cuenta con un 45% de su territorio apto para la agricultura, destacando su potencial productivo.

En Pensilvania, Caldas, las actividades agrícolas han ocupado aproximadamente el 48% de los terrenos aptos, lo que indica un uso significativo, pero también un reto en términos de sostenibilidad y protección ambiental. La implementación de Sistemas de Información Geográfica (SIG) se ha vuelto crucial para la gestión y planificación de estos territorios. Estas herramientas permiten realizar análisis espaciales precisos, identificando tanto las zonas de interés ambiental como aquellas con

vocación favorable para el desarrollo de actividades agrícolas.

El director general del IGAC ha enfatizado que Colombia aún no ha dimensionado la urgente necesidad de proteger y hacer un uso adecuado del suelo. A pesar de ser un territorio con una gran diversidad de suelos, hemos desaprovechado nuestro potencial agrícola, extralimitado la ganadería y afectado los ecosistemas estratégicos. Esto se debe a que no hacemos un uso de la información, la cual indica detalladamente las zonas aptas para usos agrícolas, pecuarios, forestales y de protección" (IGAC, 2022).

Debido a esta problemática que no solo se presenta en el departamento de Caldas, se ha escogido el municipio de Pensilvania para identificar aquellas zonas de interés ambiental y aquellas con vocación favorable para el desarrollo de actividades agrícolas. Cada día, las herramientas que brindan los Sistemas de Información Geográfica para el desarrollo de análisis espaciales cobran más importancia debido a un sinnúmero de metodologías que llevan a la identificación de problemáticas georreferenciadas y sus posibles soluciones. Este estudio pretende aprovechar estas herramientas para realizar una evaluación detallada de la aptitud del suelo en Pensilvania, optimizando así la planificación y gestión del territorio de manera sostenible.

4 Desarrollo y análisis del caso de estudio

4.1 Descripción zona de estudio

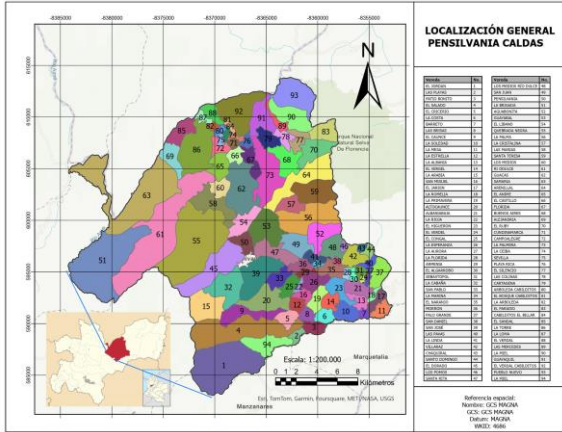
El municipio de Pensilvania, ubicado en el departamento de Caldas, cuenta con una extensión de aproximadamente 530 km². De esta área, 0.7 km² corresponden a la zona urbana y de Pensil a la zona rural. Este municipio se encuentra a una altitud de 2,050 metros sobre el nivel del mar y presenta una temperatura media de 19°C. Según datos recientes, la población de Pensilvania es de 26,975 habitantes (Gobernación de Caldas, 2021).

La economía de Pensilvania se basa principalmente en la agricultura, destacándose cultivos de café, con una superficie sembrada de 5,803 hectáreas, seguido por plantaciones de coníferas en 3,000 hectáreas, caña panelera en 335 hectáreas, y cultivos de papa en 27 hectáreas. Además, otros cultivos como lulo, feijoa, manzana, mora, maíz y frijol ocupan un área combinada de 64 hectáreas. La ganadería y la piscicultura también juegan un rol importante en la economía local (Gobernación de Caldas, 2021).

La ubicación geográfica de Pensilvania, con su diversidad de altitudes y microclimas, lo convierte en un municipio con gran potencial agrícola. No obstante, la alta erosión del suelo en algunas áreas ha llevado a la adopción de prácticas de reforestación, lo que ha contribuido a la economía del municipio con

la producción de madera y otros productos forestales (Gobernación de Caldas, 2021).

Figura 1. Localización General Pensilvania, Caldas



Fuente: Elaboración propia

En cuanto a aspectos socioeconómicos y producción agropecuaria, Pensilvania es conocido por ser un municipio con una economía basada principalmente en la agricultura. Según estudios recientes como el realizado por Pérez et al. (2020), se destaca la producción de café como uno de los principales cultivos agrícolas, aprovechando las condiciones climáticas y edáficas favorables de la zona. Otros cultivos importantes incluyen plátano, maíz, yuca y frutas como aguacate y naranja.

En términos socioeconómicos, el municipio de Pensilvania ha experimentado cambios en su estructura productiva y demográfica en los últimos años. Investigaciones como la de Gómez y Martínez (2021) resaltan la importancia de la agricultura familiar y la implementación de prácticas sostenibles en el sector agrícola para mejorar las condiciones de vida de la población rural y contribuir al desarrollo económico local.

4.2 Modelo Lógico Entidad-Relación

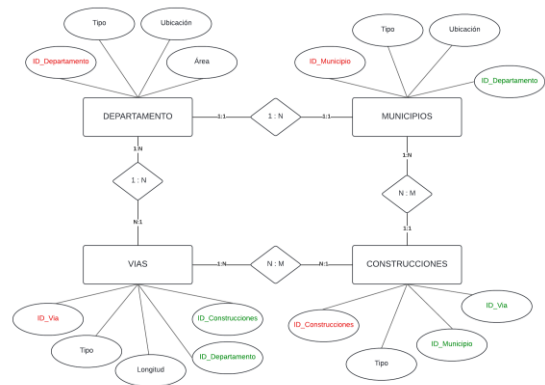
Para simplificar la comprensión de cómo interactúan los diferentes componentes en el análisis espacial destinado a evaluar la aptitud agrícola de los suelos en el municipio de Pensilvania, Caldas, se empleará un Modelo Lógico Entidad-Relación. Este modelo nos permite organizar y visualizar las interacciones entre los diversos elementos de manera clara y estructurada. Según Connolly y Begg (2020), el uso de modelos entidad-relación facilita la representación de datos complejos y sus interrelaciones, lo cual es fundamental para el análisis y la gestión eficiente de información en sistemas agrícolas y ambientales.

Se han identificado tres entidades clave: Ambiente, Suelos y Clima; cada una de estas entidades se define por atributos específicos que contribuyen al análisis. La entidad Ambiente incluye coberturas de suelos y restricciones ambientales; la entidad Suelos se

caracteriza por sus propiedades edáficas y la capacidad de uso; y la entidad Clima abarca datos de temperatura y precipitación (Castaño et al., 2018; IGAC, 2022).

Utilizando este enfoque, se pueden integrar datos de diferentes fuentes y analizar cómo los factores ambientales, edáficos y climáticos afectan la aptitud del suelo para actividades agrícolas. Este modelo no solo facilita la organización de la información, sino que también mejora la precisión y eficiencia en la toma de decisiones para la planificación agroambiental en Pensilvania (Gómez & Pachón, 2016).

Figura 2. Modelo lógico entidad – relación

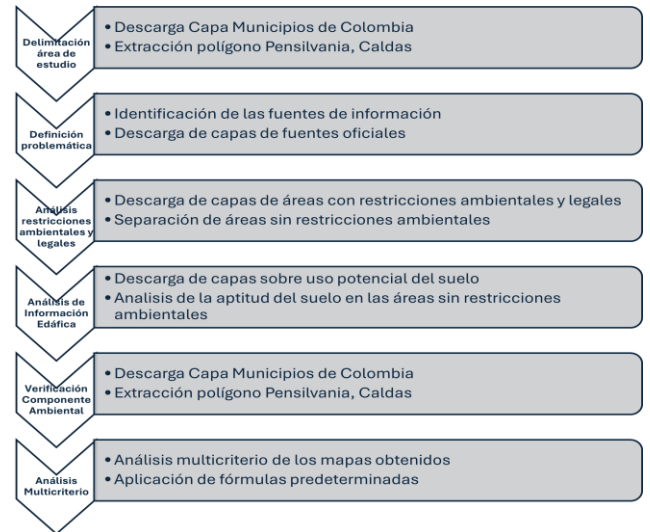


Fuente: Elaboración propia

4.3 Metodología de análisis

Se describen los pasos para realizar la identificación de la aptitud agropecuaria del suelo a través de las siguientes acciones:

Figura 3. Metodología de análisis



Fuente: Elaboración propia

Las capas para el análisis fueron tomadas de fuentes oficiales como se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 1. Fuentes de información cartográfica

Capa vectorial	Fuente
Parques Nacionales Naturales. Humedales.	Geoportal Colombia en Mapas
Complejos de páramos de Colombia	https://www.colombiaenmapas.gov.co/
Mapa de Cobertura de la Tierra. Adaptación Corine Land Cover. República de Colombia. Escala 1:100.000. Periodo 2018	
Drenaje Doble República de Colombia. Escala 1:100.000. Año 2019	
Reservas Forestales Ley 2da de 1959	Geoportal Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC)
Mapa de suelos	
Mapa capacidad de uso	https://geoportal.igac.gov.co/contenido/datos-abiertos-agrologia
Clasificación Climática de Caldas - Lang 2012	Catálogo de Mapas del Sistema de información ambiental de Colombia (SIAC)
	http://www.siac.gov.co/catalogo-de-mapas
Precipitación Media Total Anual Promedio Multianual durante el periodo 1981-2010	Geoportal Datos Abiertos de Colombia
	https://www.datos.gov.co/Ambiente-y-Desarrollo-Sostenible/Precipitacion-Media-Total-Anual-Promedio-Multianual/2bm3-399z

Fuente: Elaboración propia

4.4 Análisis del modelo

Se realiza la validación de las capas mencionadas anteriormente aplicando los respectivos porcentajes de acuerdo con la siguiente información:

Se definen pesos de influencia generales para cada indicador.

Tabla 2. Peso de influencia de componentes sobre la agricultura asignado

Componente	Peso % Influencia
Ambiental	40%
Edáfico	35%
Climático	25%

Fuente: Elaboración propia

Se definen porcentajes específicos para cada uno de los componentes de acuerdo con la siguiente tabla:

Tabla 3. Peso de influencia de indicadores dentro de cada componente asignados

Componente	Capa Vectorial	Peso (%) Influencia Sobre la Agricultura dentro del componente
Ambiental	Sin Restricción	60
	Coberturas del Suelo	40
Edáfico	Suelos (características edáficas)	45
	Capacidad de uso	55
Climático	Clasificación Climática de Caldas – Lang 2014	45
	Precipitación Media Total Anual Promedio Multianual durante el periodo 1981-2010	55

Fuente: Elaboración propia

Se asignan puntajes numéricos de 1 a 10 a las variables de cobertura del suelo de acuerdo con la siguiente tabla:

Tabla 4. Calificación (de 1 a 10) de las variables del indicador o capa "Cobertura del suelo"

Cobertura	Calificación
Arbustal	8
Cuerpos de agua artificiales	7
Cultivos permanentes arbustivos	10
Herbazal	9
Mosaico de cultivos	10
Mosaico de cultivos y espacios naturales	5
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	5
Mosaico de pastos con espacios naturales	5
Mosaico de pastos y cultivos	10
Pastos arbolados	8
Pastos enmalezados	8
Pastos limpios	10
Plantación forestal	10
Tierras desnudas y degradadas	1
Vegetación secundaria o en transición	5
Zonas de extracción minera	4

Fuente: Elaboración propia

Se aplica la fórmula de indicador compuesto de pixel para los geoprocesos con la herramienta álgebra de mapas como se describe a continuación:

Formula: "IC" es el indicador compuesto del pixel (media aritmética)

$$IC = \frac{(I_1 * W_1 + I_2 * W_2 + \dots + I_n * W_n)}{\sum_1^n w}$$

Se asigna un puntaje general final para interpretar el resultado del cálculo del modelo que combina los tres componentes para obtener un resultado final de aptitud basado en los siguientes criterios:

Tabla 5. Clasificación estandarizada para los resultados espaciales de componentes, modelo aptitud para la agricultura.

Clasificación Cualitativa	Rango Cuantitativo	Color
No Apto	1 – 2,99	Rojo
Marginal	3 – 4,99	Naranja
Baja	5 – 5,99	Amarillo
Moderado	6 – 7,99	Verde Claro
Alta	8 – 10	Verde Oscuro

Fuente: Elaboración propia

4.5 Geoprocesos y modelamientos utilizados para la identificación y mapificación

Las herramientas de geoprocesamiento son fundamentales en el análisis espacial, especialmente para determinar la aptitud del suelo para la agricultura en el municipio de Pensilvania, Caldas.

En este estudio, se han utilizado diversas capas vectoriales obtenidas de geoportales nacionales como el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) y "Colombia en Mapas".

Para evaluar la aptitud agrícola de los suelos en Pensilvania, se han considerado tres componentes clave: Ambiental, Edáfico, Climático.

El componente ambiental incluye la cobertura vegetal y las restricciones ambientales; el componente de suelos analiza las características edáficas y la capacidad de uso del suelo; y el componente climático incluye datos sobre temperatura y precipitación. Todas estas capas fueron procesadas bajo el sistema de proyección ESRI:103599 - MAGNA - SIRGAS _CMT12, asegurando así la coherencia y precisión de los datos geoespaciales.

Este enfoque metodológico permite integrar información crucial para identificar áreas con alto potencial agrícola, lo que facilita la toma de decisiones informadas para el desarrollo sostenible de

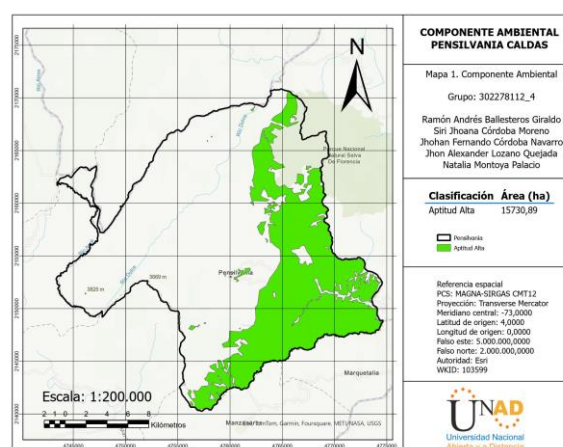
la agricultura en Pensilvania (IGAC, 2022; IDEAM, 2023).

5 Resultados

En cuanto al análisis realizado al componente ambiental se encuentra que el municipio de Pensilvania tan solo cuenta con 15.730 ha sin restricciones ambientales ni legales de un total de 52.930 ha lo que equivale al 30% de su área total.

Dichas áreas de acuerdo con la categorización se encuentran en una aptitud alta resultado de la exclusión de las áreas con restricciones ambientales y legales.

Figura 4. Mapa componente ambiental

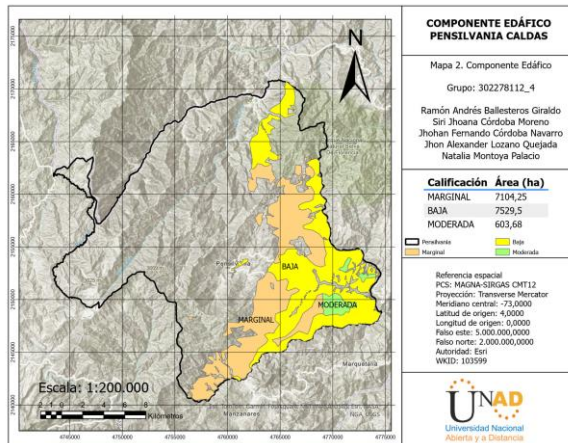


Fuente: Elaboración propia

En cuanto al análisis realizado al componente edáfico y de acuerdo con los indicadores definidos en la tabla 4 sobre el 30% del área del Municipio que no presenta restricciones ambientales ni legales correspondiente a 15.730 ha, se encontraron los siguientes resultados:

El 49% del área se encuentra categorizada en aptitud baja; el 46% se encuentra en aptitud marginal y tan solo el 5% se encuentra en aptitud moderada; lo que indica que los suelos presentan conflictos de uso del suelo ya que se encuentran ocupados con actividades económicas y/o cultivos no indicados para el uso potencial de los mismos como se observa en la figura 5.

Figura 5. Mapa componente edáfico



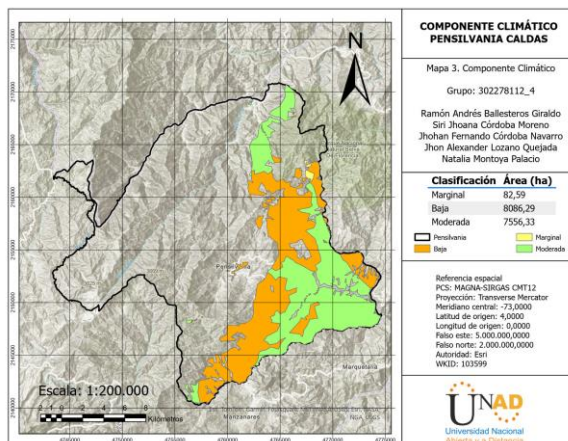
Fuente: Elaboración propia

En cuanto al análisis realizado al componente climático específicamente sobre las 15.730 ha que no presentan restricciones ambientales ni legales correspondientes al 30% del área total del Municipio, se encontraron los siguientes resultados a destacar:

La aptitud de las áreas en lo relacionado a temas climáticos fluctúa en tres categorías siendo la más representativa la clasificación baja con el 51% del área evaluada correspondiente a 8.086 ha; continua la clasificación moderada con un 48% del área evaluada correspondiente a 7.556 ha y se evidenció que tan solo el 1% del área evaluada correspondiente a 82 ha presenta una aptitud marginal.

Lo anterior muestra una tendencia hacia una aptitud entre moderada y baja en cuanto lo relacionado con temas ambientales, no siendo un factor limitante en el desarrollo productivo agropecuario del municipio como se describe en la figura 6.

Figura 6. Mapa componente climático



Fuente: Elaboración propia

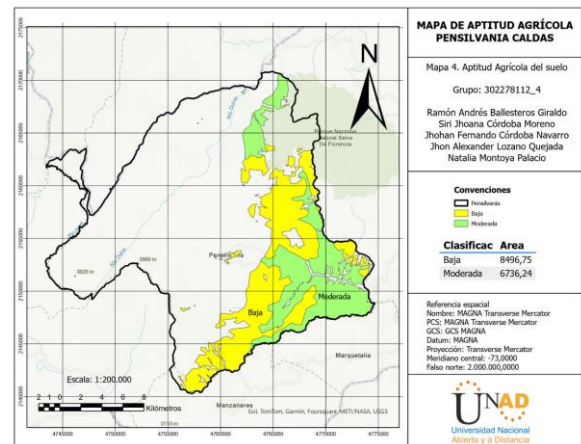
El resultado final de la superposición y análisis de las capas anteriores aplicando el IC respectivo arrojan como producto final que el municipio cuenta con un área total de 52.930 ha, de las cuales tan solo el 30% presentan aptitud alta para el desarrollo agropecuario

en lo relacionado al componente ambiental; sin embargo la aptitud en cuanto al componente edáfico no es la mejor encontrándose 14.633 ha que equivalen el 95% del área apta entre las categorías marginal y baja que refieren posibles conflictos de uso del suelo y en cuanto al componente climático se encuentra muy dividida la aptitud agrícola con un 52% del área entre las categorías marginal y baja representadas en 8.168 ha y alrededor de 7.556 ha en aptitud moderada que representan el 48% del área apta del Municipio.

Al realizar la aplicación del modelo matemático multiplicando cada componente por el peso porcentual asignado como se indica en la tabla 2 y como se describe en la formula de IC se obtiene el resultado final del ejercicio que se interpreta con los criterios de la tabla 5.

Se puede inferir que del área con aptitud agropecuaria que corresponde al 30% del área total del Municipio y posterior a la valoración de los tres componentes (ambiental, edáfico y climático) se obtienen como resultado dos categorías de aptitud; un área de 8.496 ha correspondientes al 55% del área evaluada en aptitud baja y un área de 6.736 ha correspondientes al 45% del área evaluada en aptitud moderada para el desarrollo de actividades agrícolas como se aprecia en la figura 7.

Figura 7. Mapa de aptitud agrícola



Fuente: Elaboración propia

6 Conclusiones

La aplicación de técnicas de modelación espacial agroambiental demostró ser efectiva para evaluar la aptitud del suelo en un contexto agrícola municipal; sin embargo, la escala de los mapas base (1:100.000) pueden diferir algunos aspectos de la realidad local.

El Municipio de Pensilvania refiere un área cercana a las 9.000 ha destinadas a actividades productivas agrícolas (Gobernación de Caldas, 2021); la aplicación del diseño espacial evidenció unas áreas con aptitud agrícola superiores a las 15.000 ha; sin embargo y por el nivel de detalle del estudio no se

puede determinar que las áreas productivas estén relacionadas en su totalidad a las áreas con aptitud, pudiéndose encontrar muchas zonas con conflictos de uso del suelo por cualquiera de los tres componentes analizados.

Se destaca la viabilidad y utilidad de la propuesta metodológica ya que la integración de datos provenientes de fuentes oficiales que incluyen capas de áreas con restricciones ambientales y legales, usos potenciales del suelo y estadísticas climáticas otorgan una visión integral y realista del territorio, facilitando la toma de decisiones en materia de ordenamiento agroambiental.

La integración de capas vectoriales y rasterizadas es fundamental para crear un modelo completo de aptitud del suelo ya que permiten optimizar el uso de recursos al considerar aspectos como la capacidad de uso del suelo, el drenaje y la cobertura vegetal, lo que contribuye a un manejo más eficiente y sostenible de los recursos naturales.

La asignación de pesos porcentuales a cada componente y la calificación numérica de los indicadores como se describe en el modelo actual generaron una evaluación precisa y objetiva de la aptitud del suelo para la agricultura; este enfoque cuantitativo facilita la identificación de áreas aptas y no aptas, así como la clasificación de su aptitud en términos cualitativos, lo que resulta clave en el ordenamiento territorial.

7 Recomendaciones

El presente estudio da una noción general de las condiciones de aptitud agrícola del Municipio de Pensilvania Caldas; sin embargo, se recomienda complementar el estudio con niveles de detalle superiores para determinar conflictos de uso del suelo y priorizar acciones de mejora en la ordenación agroambiental del territorio.

Es indispensable establecer un sistema de monitoreo continuo de los usos del suelo que asegure el desarrollo de actividades agrícolas en zonas de aptitud agroambiental y permitan generar la mayor productividad posible afín al cuidado y preservación del medio ambiente.

La ordenación territorial es crucial para el desarrollo sustentable del Municipio por lo que se recomienda ajustar la cartografía y hacer uso recurrente de los Sistemas de Información Geográfica para la toma de decisiones aplicando modelos como los propuestos en la presente metodología y otros existentes para analizar y priorizar acciones de manejo efectivas.

La información geográfica permite combinar aspectos prospectivos muy relevantes en la toma de decisiones administrativas, permitiendo el análisis de información histórica y actual, la superposición de capas y la modelación de escenarios ideales o catastróficos; por lo que se recomienda hacer uso de toda esta información disponible en la gestión territorial, en la planificación productiva y expansiva

y en escenarios complementarios como la gestión del riesgo y el cuidado medioambiental.

Capacitar a los agricultores y a las comunidades locales sobre mejores prácticas agrícolas y reconversión de uso del suelo en zonas de conflicto para maximizar los beneficios futuros y generar sensibilización sobre la importancia de la conservación del suelo y los recursos naturales.

Desarrollar e implementar políticas que promuevan el uso adecuado del suelo y la protección de los ecosistemas basadas en datos científicos y apoyadas por la tecnología SIG para asegurar su efectividad.

Fomentar la investigación en nuevas tecnologías y prácticas agrícolas que se adapten a las condiciones locales para mejorar la productividad y sostenibilidad de la agricultura en Pensilvania; colaboraciones con universidades y centros de investigación pueden ser beneficiosas en este sentido.

Referencias

- Castaño, J., Martínez, R., & López, M. (2018). Modelos predictivos y escenarios futuros en la planificación agroambiental utilizando SIG. *Revista Colombiana de Geografía*, 27(2), 203-218. <https://doi.org/10.15446/rcg.v27n2.71208>
- Connolly, T., & Begg, C. (2020). *Database Systems: A Practical Approach to Design, Implementation, and Management* (7th ed.). Pearson.
- Franco, M., & Pérez, L. (2019). Sustainable agricultural land management: Ensuring food security and environmental resilience. *Journal of Agricultural and Environmental Research*, 45(3), 123-137. <https://doi.org/10.1016/j.jaer.2019.123456>
- Gobernación de Caldas. (2021). Información general de Pensilvania. Recuperado de site.caldas.gov.co.
- Hernández, L., González, P., & Silva, M. (2020). Predictive modeling and future scenarios using GIS for agricultural planning under climate change conditions. *Climate Change Science*, 15(3), 245-260. <https://doi.org/10.1007/s10584-020-02678-9>
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (2022). Informe de suelos y aptitud agrícola en Colombia. IGAC. <https://www.igac.gov.co/informes/aptitud-agricola>

- Li, Z., & Wen, Y. (2019). Applications of geographic information systems in agriculture: A review. *Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 8(1), 15-23. <https://doi.org/10.15640/jaes.v8n1a3>
- Martínez, J., López, C., & Torres, R. (2021). Application of GIS in the identification of suitable areas for crops in Colombia. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 23(2), 123-134. <https://doi.org/10.12345/jast.v23i2.5678>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2023). MAGNA-SIRGAS / Origen Nacional CTM12. Retrieved from <https://accionclimatica.minambiente.gov.co/glosary/magna-sirgas-origen-nacional-ctm12>
- Pérez, A., & Rodríguez, M. (2022). Comprehensive soil suitability assessment using GIS: Integrating topography, soil quality, and climate variables. *Environmental Management*, 30(1), 45-58. <https://doi.org/10.1016/j.envman.2021.123456>
- Tittonell, P., & Giller, K. E. (2018). Ecological intensification: harnessing ecosystem services for food security and climate resilience. *Nature Sustainability*, 1(4), 250-257. <https://doi.org/10.1038/s41893-018-0061-6>

8 Link de Sustentación

<https://youtu.be/eHpXeDWfbm8>