



Análisis Geoespacial y Multicriterio de Apiarios en el Distrito de Barrancabermeja.

Johana Marcela Galíndez Santacruz
Leney Mireya González Ferrer

Propuesta de trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de
Especialista en Sistemas de Información Geográfica

Director

Mario Andrés Giraldo Fadul, Doctor (PhD) en Geography

Universidad de Manizales
Facultad de Ciencias e Ingeniería
Especialización en Sistemas de Información Geográfica
Manizales, Caldas, Colombia

2024

Cita	(Galindez & Gonzalez, 2024)
Referencia	Galindez Santacruz, J.; González Ferrer, L. (2024). Análisis Geoespacial y Multicriterio de Apiarios en el Distrito de Barrancabermeja. [Trabajo de grado especialización]. Universidad de Manizales. RIDUM: Repositorio Institucional Universidad de Manizales.
Estilo APA 7 (2020)	



Especialización en Sistemas de Información Geográfica , XXIX

Grupo de Investigación Territorios Inteligentes y Sostenibles.

Centro de Investigaciones en Medio Ambiente y Desarrollo -Cimad.

Biblioteca y Centro de Información Universidad de Manizales

Repositorio Institucional: <http://ridum.umanizales.edu.co/>

Universidad de Manizales - www.umanizales.edu.co

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Manizales ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Dedicatoria

A nuestras familias, por su comprensión y ánimo constante en los momentos más desafiantes de este camino académico.

Este proyecto es el resultado de un esfuerzo conjunto y está dedicado a todos aquellos que han creído en nosotras y han contribuido de alguna manera a hacer posible este logro.

Gracias, Gracias, Gracias...

Agradecimientos

Deseamos expresar nuestra más profunda gratitud a nuestras familias por su apoyo incondicional y constante aliento, que han sido fundamentales para alcanzar este logro.

Agradecemos sinceramente a la Universidad de Manizales por brindarnos la oportunidad de ser parte de su comunidad académica. En especial, extendemos nuestro agradecimiento a la Facultad de Ciencias e Ingeniería por proporcionarnos un entorno enriquecedor que ha ampliado nuestros conocimientos y formación profesional.

Un agradecimiento muy especial a nuestro tutor, Mario Andrés Giraldo Fadul, por su inestimable orientación, dedicación y tiempo invertido en nuestro proyecto. Su guía ha sido esencial para el desarrollo y éxito de este trabajo.

Tabla de contenido

Resumen	10
Abstract	11
Introducción	12
1. Planteamiento del Problema.....	13
1.1 Descripción del área problemática	13
1.2 Antecedentes	14
2. Justificación.....	27
3. Objetivos	28
3.1 Objetivo general	28
3.2 Objetivos específicos.....	28
4. Marco teórico	29
4.1 Fundamentos de los Sistemas de Información Geográfica (SIG)	29
4.1.1 Definición y Componentes de los SIG.....	29
4.1.2 Funcionalidades de los SIG	30
4.1.3 Aplicación de los SIG en la Apicultura	32
4.2 Extensiones y Herramientas de ArcGIS	35
4.2.1 Usos de las Extensiones y Herramientas de ArcGIS.....	36
4.3 Evaluación Multicriterio (EMC) en la Apicultura	39
4.3.1 Fundamentos de la Evaluación Multicriterio (EMC).....	39
4.3.2 Aplicación de la EMC en la Apicultura	40
4.3.3 Componentes de la EMC	40
4.3.4 Procedimiento de la EMC en SIG.....	41
4.4 Futuras Líneas de Investigación	42

5. Metodología	44
5.1 Ubicación	44
5.2 Clima	45
5.3 Ecosistemas y cobertura vegetal.....	46
5.4 Zonas agrícolas.....	50
5.5 Uso de la tierra	51
5.6 Enfoque Metodológico	52
5.7 Tipo de Estudio	52
5.8 Procedimiento.....	53
Fase I. Crear un sistema geográfico de información (geodatabase) para los apiarios	53
Actividad 1. Visitas de campo:	53
Actividad 2. Selección de software y herramientas SIG.....	55
Fase II. Determinar las distancias medias entre apiarios, su distribución espacial e identificar patrones y tendencias espaciales relevantes para su manejo y generar salidas gráficas para informar la toma de decisiones.	60
Fase III. Desarrollar un análisis multicriterio para definir áreas y ubicaciones potenciales de apiarios y generar salidas gráficas para informar la toma de decisiones.	65
Actividad 4. Procesamiento y reclasificación de capas:	65
5.8.1 Cuerpos Hídricos.	74
Actividad 06. Generación de mapas:.....	80
6. Resultados	81
6.1 Fase I. Crear un sistema geográfico de información (geodatabase) para los apiarios.....	81
6.1.1 Actividad 1. Recopilación de datos.	81
6.1.2 Actividad 2. Creación de geodatabase.	82
6.2 Fase II. Determinar las distancias medias entre apiarios, su distribución espacial e identificar patrones y tendencias espaciales relevantes para su manejo y generar salidas gráficas para informar la toma de decisiones.	84

6.2.1 Actividad 3. Análisis Espacial y Generación de Mapas	84
6.3 Fase III. Desarrollar un análisis multicriterio para definir áreas y ubicaciones potenciales de apiarios y generar salidas gráficas para informar la toma de decisiones.	108
6.3.1 Actividad 4. Procesamiento y reclasificación de capas	108
6.3.1 Actividad 5. Análisis multicriterio o de factibilidad.....	116
6.3.2 Actividad 6. Generación de mapas:	119
7. Conclusiones	121
8. Recomendaciones.....	122
Referencias	124

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Relación de Áreas Según el POT	44
Tabla 2. Datos Climáticos Distrito de Barrancabermeja	46
Tabla 3. Áreas Boscosas Representativas de Barrancabermeja	47
Tabla 4. Clasificación Agrológica del Suelo de Barrancabermeja	50
Tabla 5. Shapefile para el proyecto	56
Tabla 6. Extensiones- Herramientas ArcGIS	59
Tabla 7. Capas utilizadas en multicriterio	65
Tabla 8. Categorías	67
Tabla 9. Criterios por elemento	70
Tabla 10. Porcentajes de importancia	77
Tabla 11. Valores posibles de los ráster resultantes según la importancia de factores	78
Tabla 12. Recopilación de datos	81
Tabla 13. Área de polígonos de Thiessen	86
Tabla 14. Área recorrida por las abejas por municipio	89
Tabla 15. Porcentaje de disponibilidad de cuerpos hídricos de Barrancabermeja en la zona de pecoreo	91
Tabla 16. Porcentaje de cobertura vegetal impactada por el área recorrida por las abejas	93
Tabla 17. Porcentaje de área de cobertura vegetal disponible en el área recorrida por las abejas	94
Tabla 18. Porcentaje área de zona forestal impactada por el área recorrida por las abejas	96
Tabla 19. Porcentaje de zonas forestales disponibles en el área recorrida por las abejas	97
Tabla 20. Porcentaje de zonificación de DRMI San Silvestre disponible en el área recorrida por las abejas	99
Tabla 21. Porcentaje de zonificación de DRMI San Silvestre impactado por el área recorrida por las abejas.	100
Tabla 22. Porcentaje impactado por el área recorrida por las abejas por categoría del POMCA Sogamoso	101
Tabla 23. Porcentaje por categoría de POMCA Sogamoso disponible en el área recorrida por las abejas	102
Tabla 24. Porcentaje impactado por presencia de redes en el área recorrida por las abejas	104
Tabla 25. Porcentaje de redes eléctricas ubicadas en el área recorrida por las abejas	104
Tabla 26. Porcentaje de área impactada por infraestructura del total del área recorrida de las abejas	105
Tabla 27. Porcentaje de área de infraestructura ubicada en el área de pecoreo de las abejas	106
Tabla 28. Porcentaje del total de redes ubicadas en el área de pecoreo	107
Tabla 29. Porcentaje en red vial del área total del recorrido de las abejas	108

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Preguntas que pueden ser contestadas por un SIG	31
Figura 2. Procedimiento EMC	42
Figura 3. Esquema de localización del Distrito de Barrancabermeja	45
Figura 4. Unidades Boscosas Representativas de Barrancabermeja	47
Figura 5. Mapa de Ecosistemas Generales del Distrito de Barrancabermeja	49
Figura 6. Implementos de seguridad	54
Figura 7. Fotografía Apiario	54
Figura 8. Visita de campo y toma de ubicación	55
Figura 9. Fotografía Cobertura Vegetal	61
Figura 10. Fotografía Plantaciones forestales	62
Figura 11. Fotografías visitas de campo	82
Figura 12. Geodatabase SIG Apícola	83
Figura 13. Mapa N° 1. Polígonos de Thiessen	85
Figura 14. Mapa N°2 Ubicación de apiario por corregimiento	87
Figura 15. Mapa N°3 Límites ecológicos	89
Figura 16. Mapa N°4 Cuerpos hídricos	90
Figura 17. Mapa N°5 Cobertura vegetal	92
Figura 18. Mapa N°6 Tipos de cobertura	95
Figura 19. Mapa N°7 Zonificación DRMI	98
Figura 20. Mapa N° 8: Categoría POMCA SOGAMOSO	101
Figura 21. Mapa N° 9: Infraestructura- Red Eléctrica	103
Figura 22. Mapa N° 10: Equipamiento	105
Figura 23. Mapa N° 11. Redes viales en Barrancabermeja	107
Figura 24. Contenido geodatabase Analisis_Multicriterio	109
Figura 25. Mapa N°12. Raster de la red vial de Barrancabermeja	110
Figura 26. Mapa N° 13. Raster de la red hidrográfica de Barrancabermeja.	111
Figura 27. Mapa N° 14. Raster de equipamiento rural	112
Figura 28. Mapa N° 15. Raster de la determinante ambiental Distrito Regional de Manejo integrado DRMI	113
Figura 29. Mapa N° 16. Raster de vegetación en Barrancabermeja.	114
Figura 30. Mapa N° 17. Resultado análisis multicriterio	116
Figura 31. Mapa N° 18 Resultado áreas óptimas para ubicación de apiarios	118
Figura 32. Mapa N° 19. Categorías de ubicaciones potenciales de apiarios en el distrito de Barrancabermeja	119

Siglas, acrónimos y abreviaturas

CONABIO	Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (México)
CONAGUA	Comisión Nacional del agua (México)
DRMI	Distrito Regional de Manejo Integrado
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
IGAG	Instituto Geográfico Agustín Codazzi
IMTA	Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
KPI	Key Performance Indicators (Indicadores de Gestión)
MCDA	Análisis de Decisión Multicriterio
POMCA	Plan de Manejo y Ordenación de una Cuenca
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (México)
SIG	Sistema de Información Geográfica
USDA	U.S Department of Agriculture
ZAE	Zonificación Agroecológica

Resumen

La caracterización espacial del territorio permite optimizar la planeación y distribución del espacio, respetar la vocación del suelo, facilita la productividad del mismo en las actividades económicas a las que se destinen. En Barrancabermeja, existen diferentes zonas de apiarios, no obstante, no existía un mapeo sobre su ubicación y calificación de la aptitud para la actividad; es por esto, que se buscó identificar los apiarios existentes. Por medio de un SIG se brindó, además, una herramienta cartográfica de las zonas potenciales para la apicultura que contribuya a mejorar esta actividad económica. Se clasificó el territorio según la aptitud para la apicultura, encontrando que el mayor porcentaje es Inaceptable. Se identificó que el territorio de Barrancabermeja es Inaceptable en un 61,51%, Aceptable un 18,74% y sólo un 19,75% Óptimo para la apicultura. Actualmente la actividad se distribuye así; cinco (5) apiarios se encuentran en una zona óptima, tres (3) en una zona aceptable, diecinueve (19) en una zona inaceptable y tres (3) en zonas sin información suficiente. Se recomienda a las autoridades ambientales implementar programas de capacitación y formación a los apicultores sobre las condiciones requeridas para el establecimiento y fortalecimiento de las colmenas, acorde a los criterios de desarrollo funcional.

Palabras clave: apicultura, SIG, evaluación multicriterio, geodatabase.

Abstract

The spatial characterization of the territory allows for the optimization of the planning and distribution of space, respecting the vocation of the soil, and facilitating its productivity in the economic activities for which they are intended. In Barrancabermeja, there are different areas of apiaries, however, there was no mapping of their location and qualification of suitability for the activity; this is why an attempt was made to identify the existing apiaries. A GIS also provided a cartographic tool of the potential areas for beekeeping that contributes to improving this economic activity. The territory was classified according to its suitability for beekeeping, finding that the highest percentage is Unacceptable. It was identified that the territory of Barrancabermeja is Unacceptable in 61.51%, Acceptable in 18.74% and only 19.74% Optimal for beekeeping. Currently the activity is distributed as follows: Five (5) apiaries are located in an optimal zone, three (3) in an acceptable zone, nineteen (19) in an unacceptable zone and three (3) in zones without sufficient information. It is recommended that environmental authorities implement training and education programs for beekeepers on the conditions required for the establishment and strengthening of hives, according to the functional development criteria.

Keywords: beekeeping, geographic information system, multi-criteria evaluation, geodatabase.

Introducción

En Colombia, una de las seis (6) causas principales de la degradación de los suelos, es el uso inadecuado de la tierra, donde no se respeta la “vocación” del suelo para planificar su uso (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2014). El IGAG identificó que sólo 15 millones de hectáreas del territorio colombiano son aptos para la ganadería, no obstante, en realidad son 34 hectáreas las que se están usando para dicha actividad. En contraste, estudios del IGAC revelan que Colombia tiene alrededor de 22 millones de hectáreas aptas para cultivos, y sólo se aprovechan 6 millones. De esta manera, se evidencia que el uso inadecuado muestra un 28,7% del territorio tenga conflictos de uso de suelo: 15,6% por sobreutilización en ganado y 13,9% por subutilización; lo que conlleva a pérdidas irreversibles en el suelo.

Por lo anterior, es importante el análisis del suelo con base en factores biofísicos que permita identificar la aptitud del mismo para las diferentes actividades económicas, permitiendo la productividad del suelo, así como evitar la erosión del mismo. Para esta investigación, la apicultura es la actividad económica de interés, en el Distrito de Barrancabermeja.

Se identificó que el desconocimiento de la caracterización espacial precisa de los apiarios en Barrancabermeja dificulta la planificación de la ubicación óptima de las colmenas para maximizar la polinización de los cultivos. Por ende, se planteó establecer la localización de los apiarios existentes en el Distrito, además se realizó un análisis de factibilidad que permitió establecer las áreas óptimas para establecer nuevos apiarios.

Los hallazgos de esta investigación se sistematizan en este documento, que se dirigió bajo la pregunta de investigación: ¿cómo el análisis multicriterio para definir ubicaciones potenciales de apiarios en el Distrito de Barrancabermeja, utilizando un SIG. Será de utilidad en el proceso de mejoramiento de la apicultura, seguridad alimentaria y conservación de la especie? Aportando al Distrito una herramienta para la planificación de su territorio, en el área apícola.

1. Planteamiento del Problema

1.1 Descripción del área problemática

La apicultura es una actividad que se basa en la cría y cuidado de las abejas, especialmente de las “Apis melíferas”, es decir, aquellas más comúnmente asociadas con la producción de miel y la polinización de cultivos agrícolas, por lo cual, favorecen significativamente a la seguridad alimentaria. No obstante, durante los últimos años las poblaciones de abejas enfrentan una serie de amenazas en todo el mundo que han contribuido al declive en algunas áreas. Algunos factores de amenaza son pérdida de hábitat, uso de agroquímicos, cambio climático, contaminación del agua y aire, entre otros.

Partiendo de lo anterior, se expresa que el desconocimiento de la caracterización espacial precisa de los apiarios se configura como un problema significativo al dificultar la planificación de la ubicación óptima de las colmenas para maximizar la polinización de los cultivos. Para abordar este problema, se planteó establecer la localización de los apiarios existentes en el Distrito, mediante la realización de visitas a campo y la colaboración entre apicultores, productores agropecuarios, autoridades locales, entre otros, lo cual permitió la recopilación e intercambio de datos de una forma eficiente. Por otra parte, para brindar una herramienta valiosa al distrito de Barrancabermeja, se realizó un análisis de factibilidad que permitió establecer las áreas óptimas para establecer nuevos apiarios, mejorando la polinización de los cultivos, la conservación de la especie y la planificación de la actividad apícola en la zona.

La ausencia de mapeo de los apiarios existentes dificulta la evaluación efectiva del impacto de la actividad apícola, lo que limita la capacidad de tomar decisiones informadas sobre prácticas agrícolas sostenibles y la conservación de los polinizadores en la región.

De acuerdo con lo anteriormente planteado surge la pregunta de investigación ¿Cómo el análisis multicriterio para definir ubicaciones potenciales de apiarios en el Distrito de Barrancabermeja, utilizando un SIG. Será de utilidad en el proceso de mejoramiento de la apicultura, seguridad alimentaria y conservación de la especie?

1.2 Antecedentes

A nivel internacional, en un estudio titulado "Aplicación de sistemas de información geográfica en la evaluación de la idoneidad del uso del suelo para la apicultura: Un estudio de caso de la cuenca de Vahrgan en Irán" realizado por Fazel et al. (2012), se llegó a la conclusión de que en los últimos diez años ha sido cada vez más desafiante tomar decisiones sobre el uso de la tierra. Esto se debe al crecimiento de la población y a la creciente demanda de nuevas tierras y recursos, así como a una mayor conciencia sobre la importancia de utilizar la tierra y los recursos de manera sostenible.

El propósito de este informe fue integrar el concepto de uso múltiple de la tierra en el análisis de la aptitud de la tierra utilizando sistemas de información geográfica (SIG) basados en el enfoque de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).

Se utilizaron factores ambientales y parámetros de vegetación relacionados con la apicultura como capas de mapas dentro del SIG, donde cada capa representaba una opción alternativa. Se presentaron tres patrones distintos de aptitud de la tierra para la apicultura. El estudio reveló que la disponibilidad de especies de néctar o polen y la duración del período de floración eran los factores más limitantes para la aptitud de la tierra en la apicultura.

Por otro lado, una distribución adecuada de los recursos hídricos, condiciones climáticas favorables y la presencia predominante de especies no comestibles debido al pastoreo excesivo con un período de floración prolongado aumentaron la aptitud de la tierra para la apicultura. En general, aproximadamente el 54% del área evaluada mostró una excelente aptitud para la apicultura. Por lo tanto, la apicultura puede desempeñar un papel importante en mejorar y promover un uso más eficiente de la tierra.

Además, en Europa, según la investigación llevada a cabo por los académicos Higaldo et al. (2004) de la Universidad de Córdoba, España, con el propósito de desarrollar un modelo de

información geográfica sobre las variables más relevantes en el proceso de producción de miel, se persigue la integración de datos medioambientales. Este enfoque incluye información sobre la topografía del parque, las características del hábitat apícola y otros factores fundamentales para comprender la relación entre el entorno y la apicultura en la zona. Estos datos se consolidaron en un Sistema de Información Geográfica (SIG), facilitando análisis espaciales para evaluar el impacto de la actividad apícola en el entorno natural del parque y para identificar áreas propicias para la práctica sostenible de la apicultura.

También en España, en la provincia de Granada, (Bonet, F. et al., 2001) con el objetivo de aplicar una serie de metodologías de evaluación multicriterio implementadas en un SIG a la gestión de aprovechamientos apícolas de la provincia de Granada, obtuvieron tres mapas de vegetación con objetivos diferentes a los contemplados en el proyecto. Es decir, ninguno de ellos muestra de forma detallada las distintas comunidades vegetales susceptibles de ser utilizadas para obtener miel.

La investigación dio como resultado 12 mapas finales que mostraban la aptitud global del territorio para albergar colmenas. Cada uno fue evaluado por medio de tablas de confusión que contrastaban los resultados mostrados por los anteriores con muestreos puntuales realizados en campo (datos no mostrados). El mejor de los modelos clasifica el 67% de los puntos muestreados.

A partir de este modelo se obtuvieron dos grupos de resultados fundamentales: La conclusión inmediata es la definición de territorios de la provincia que son homogéneas desde el punto de vista de su capacidad de producción de miel. Es una aproximación cualitativa que únicamente permite adquirir una idea general sobre la distribución de los recursos apícolas de la provincia. Hasta aquí, los resultados muestran un modelo de análisis multicriterio que delimitó las zonas que cumplen con ciertos parámetros definidos.

También se obtuvo la definición de la capacidad de carga apícola por monte, esto ya es un modelo cualitativo que busca contribuir a la toma de decisiones respecto a los asentamientos apícolas. Para ello se tuvo en cuenta los resultados obtenidos en estudios de campo sobre la carga apícola por superficie. Conociendo de antemano, según Root (1995) que la densidad máxima de

colmenas por hectárea de vegetación apícola es de es de 0.4. Se realizó una reclasificación del modelo final para obtener 4 clases basados en la aptitud global del territorio. Así, se logró establecer una relación, entre cada clase de aptitud y el número de colmenas por hectárea. El valor de 0.4 colmenas/ha se tomó como máximo permitido para una zona de alta aptitud.

Seguidamente se procedió a tomar del modelo final las hectáreas de cada clase por cada monte público de Granada. De esta manera se identificó la superficie existente de cada clase de aptitud en los diferentes montes. Ulteriormente, se aplicó la relación *clase de aptitud – densidad de colmenas*, para calcular el número de colmenas permitidas en cada monte para cada clase de aptitud. Se finaliza sumando el número de colmenas para cada clase, llegando así a la capacidad de carga total propuesta por el modelo. Los valores coinciden en gran parte con la actual carga apícola de los montes de la provincia, indicando que se ha realizado una aproximación válida. Esto facilita identificar casos de sobreexplotación e infrautilización del potencial territorial.

Igualmente, los investigadores (Joao Marque et al., 2014) del Instituto de Ciencias Agrarias e Ambientales de la Universidad de Évora en Lisboa, llevaron a cabo un análisis exhaustivo de la actividad apícola en una región específica. Este análisis proporcionó información valiosa sobre la necesidad de establecer un sistema regulatorio para esta actividad. Además, se destaca la importancia de los Sistemas de Información Geográfica en la planificación y gestión del territorio.

El estudio reveló que los municipios de Crato y Portalegre tienen condiciones edafoclimáticas que cumplen con los requisitos básicos para la apicultura, con una sucesión diversa de floraciones que contribuye a la abundancia de flora melífera en la región y a la producción de miel de alta calidad durante diferentes épocas del año.

En este contexto, se buscó integrar los aspectos relacionados con la naturaleza y el entorno mediante un enfoque de análisis espacial. El objetivo era crear un mapa que muestre el potencial de la apicultura, considerando las variables que tienen un impacto directo en las abejas y en su función de polinización. Además, este enfoque permitió identificar posibles conflictos en la

ubicación geográfica de las colmenas y representar la distribución espacial de enfermedades en ellas.

Según Gabriela Fernández da Silva, (2015) investigadora del Instituto Politécnico de Castelo Branco, Escuela Superior Agraria, de Portugal, la apicultura es una actividad de gran relevancia económica, social y ambiental. No obstante, para incrementar su producción y rentabilidad, es fundamental realizar investigaciones que faciliten la planificación y organización de la actividad apícola.

El propósito de este proyecto es crear una metodología utilizando el Sistema de Información Geográfica (SIG) para almacenar información y localizar geográficamente las colmenas en cuatro parroquias del Municipio de Castelo Branco, Portugal. El área de estudio se encuentra dentro de la Zona Controlada de Meltagus, una asociación de apicultores del Parque Natural del Tajo Internacional.

Además, el proyecto tiene como objetivo realizar un análisis detallado de las áreas con potencial para la apicultura, considerando diferentes aspectos como la identificación de enfermedades de declaración obligatoria, la distribución de posibles fuentes de riesgo, el uso del suelo, la topografía de las laderas y la red de cuerpos de agua. Se buscó integrar los datos en un sistema SIG para apoyar a los apicultores en la elección de los territorios más adecuados para el aumento productivo, así como facilitar una herramienta que apoyará la planificación apícola.

A su vez, Fernandez P. et al (2016) en su artículo sobre el caso de estudio de caso de estudio del Parque Natural Montesinho, mostró un enfoque multicriterio SIG para evaluar el potencial de la apicultura en la zona. Se basaron en el Análisis de Decisión Multicriterio MCDA espacial que permitió definir el mapa del potencial apícola. El esfuerzo por integrar MCDA en SIG ha permitido facilitado la toma de decisiones espaciales, puesto que la información geográfica se pone a disposición de los actores. Se logró un mapa de potencial agrícola con escala continua, tanto clasificado en cinco clases de intervalos iguales, dando como resultado del estudio que el 60% de los apiarios se encuentran en zonas altas, también se concluyó que, para las áreas restantes y los

colmenares restantes, deben ser reubicados, de esta manera se mejora la actividad apícola en la zona.

Igualmente, Alleri et al., (2023) realizan una revisión sistemática que se centra en el campo de la apicultura de precisión y tiene como objetivo analizar el estado actual de esta disciplina para derivar implicaciones relevantes para investigaciones futuras. Destacan que este tema ha experimentado un reciente interés por parte de la comunidad de investigación en los últimos años. Este interés se debe en gran medida a las implicaciones ambientales que conlleva, teniendo en cuenta la preocupación creciente por la conservación de las abejas y la sostenibilidad de la apicultura.

Para llevar a cabo la revisión se aplicaron los principios y elementos recomendados para las revisiones sistemáticas y metaanálisis, como los establecidos en la guía PRISMA (Preferential Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses). La búsqueda bibliográfica se efectuó en la base de datos Scopus y se escogieron 201 artículos publicados entre 2015 y 2023. A partir de la revisión y el análisis, se expusieron algunas conclusiones y direcciones adicionales, donde se rescata que, “Los numerosos artículos publicados en el período 2015-2023 tomados en consideración en este estudio demuestran que el futuro de la apicultura es digital” (p.11). Esta tendencia refleja la creciente importancia de utilizar herramientas digitales y sistemas avanzados en la apicultura para mejorar la eficiencia, la productividad y la sostenibilidad de la industria. Comprendiendo los múltiples beneficios que conlleva, entre los cuales se destaca el monitoreo en tiempo real mediante dispositivos digitales y sensores, lo cual permite la detección temprana de problemas y reduce las pérdidas tanto económicas como ambientales.

Es posible realizar un seguimiento del estado de salud de las colmenas utilizando sensores que detectan diferentes parámetros como temperatura, humedad relativa, sonidos, imágenes, peso, entre otros. Cada parámetro individualmente puede proporcionar información útil, pero es al detectar varios parámetros simultáneamente que se obtiene una visión completa de lo que está ocurriendo en la colmena, como se ha demostrado en estudios donde se construyen modelos de pronóstico complejos (Alleri et al. 2023).

En consecuencia, la adopción de tecnologías innovadoras se presenta como una valiosa herramienta que posibilita el monitoreo en tiempo real de los diversos factores que afectan la salud de las colmenas. Esto permite a los apicultores tomar medidas inmediatas y abordar situaciones antes de que empeoren. Además, facilita una gestión más precisa de los recursos disponibles. Se examina el estudio realizado por Algeri et al. (2017), el cual presenta un enfoque innovador utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG) para evaluar la idoneidad de las tierras mediterráneas, específicamente en Calabria, Italia, para la apicultura. Lo que destaca en este estudio es el uso de SIG como método de evaluación en lugar del tradicional Proceso de Jerarquía Analítica - Toma de Decisiones con Criterios Múltiples (AHP-MCDM). Esta diferencia es significativa, ya que evita algunas limitaciones asociadas con la técnica AHP-MCDM, que pueden verse influenciadas por sesgos o preferencias personales. Además, el estudio resalta que todos los datos utilizados en la investigación se obtuvieron de fuentes de acceso abierto, lo que significa que se basaron en información disponible públicamente.

El proceso de mapeo se llevó a cabo siguiendo una serie de pasos. Estos incluyeron la selección de criterios, la recopilación de datos de repositorios públicos, el desarrollo de un modelo de idoneidad basado en Sistemas de Información Geográfica (SIG), la generación de un mapa de idoneidad y, finalmente, la validación del modelo. Se consideraron cinco factores clave que influyen en la actividad apícola: temperatura, carreteras, red hidrográfica, altitud y recursos florales. La cobertura terrestre se evaluó asignando puntuaciones específicas para el valor de la polinización, lo que permitió identificar tres clases de valores: zonas no aptas para la apicultura, zonas económicamente viables para la apicultura y zonas con un alto potencial para esta actividad.

Como resultado, se concluyó que Calabria es una zona importante y con un gran potencial para la apicultura, ya que aproximadamente el 47,76% de su superficie resultó ser muy o altamente adecuada para la producción de miel.

La investigación previamente mencionada presenta una perspectiva innovadora en la evaluación de la aptitud de los terrenos para la apicultura. Al utilizar una base de datos abierta y un enfoque basado en Sistemas de Información Geográfica (SIG), se obtienen resultados que

parecen reflejar de manera más precisa la realidad actual de la apicultura. Además, se destaca su capacidad para ser replicado en diferentes regiones y su potencial aplicación en diversas evaluaciones de aptitud del terreno, lo que lo convierte en una valiosa contribución tanto para la investigación como para la práctica en este campo.

De otra parte, a nivel regional, en la Universidad Autónoma del Estado de México, se llevó a cabo un proyecto de grado que se centró en clasificar la aptitud del territorio para de apiarios en la región XV del Estado de México. Este proyecto tuvo como objetivo analizar la ubicación óptima para la instalación de apiarios. Utilizaron una estrategia mixta que incluyó entrevistas semiestructuradas con 41 apicultores en Pitalito y 12 en Timaná. Toda la información recopilada se organizó en una base de datos codificada en Microsoft Excel, lo que permitió el uso de la Matriz método integral y la matriz DOFA para evaluar los impactos ambientales.

Según los hallazgos de los autores, se observó que la actividad apícola se encuentra concentrada en áreas específicas. En el municipio de Pitalito, el corregimiento de Bruselas representa alrededor del 51% de los sistemas apícolas identificados, mientras que, en Timaná, la vereda Montañita representa el 3,14% del total. Estas diferencias pueden atribuirse a diversos factores como las condiciones climáticas y las amenazas que afectan la producción de las colmenas.

Se pudo comprobar que las principales amenazas son el uso indiscriminado de agroquímicos en los cultivos de lulo y café, así como los ataques de hormigas que causan la dispersión de las colmenas. Además, se llegó a la conclusión de que los procesos de polinización tienen un impacto significativo.

También en México, Jáurez (2017) por medio de la investigación titulada Localización Óptima de Apiarios Mediante Evaluación Multicriterio en la Región XV del Estado de México, identificó dos escenarios: el actual, donde se muestra las zonas óptimas por sus condiciones actuales y los mejores umbrales determinados por la bibliografía, y un modelo con el supuesto de tener una agricultura más amigable para las abejas, disminuyendo el uso de agroquímicos,

permitiendo una integración entre agricultura y apicultura, logrando de la sinergia, mejores condiciones para ambas actividades.

La metodología empleada fue la selección de los datos espaciales, junto a una revisión bibliográfica, así como la consulta de expertos respecto a las características deseables del territorio para un apiario y entrevista a los apicultores. Para la captura, procesamiento y edición se utilizó plataformas tecnológicas tanto Software QGIS 2.10.1, que es idóneo para geoprocesos de cortes, uniones, exportación, conversiones de formatos vectoriales y raster, así como edición cartográfica. IDRISI Selva Software fue utilizado para el modelaje del análisis multicriterio.

De los resultados obtenidos se identificó que, en escenario actual se observa que no existen muchas áreas óptimas y que estas están fragmentadas a lo largo del territorio, esto se debe a que se tiene muchas limitantes tanto de las características del territorio, de alimentación, ambientales y por normatividad. Los resultados son significativos pues indican que se está llevando a la desaparición una actividad amigable con el ambiente, que además genera beneficios económicos y sociales.

Se identificó la división de las áreas óptimas para la práctica agrícola por cada uno de los municipios que integra la región, se observó que el municipio con mayor área de aptitud alta, cambió de Otzoloapan a Villa Victoria aumentando aproximadamente 3,000 ha de aptitud alta. Para la suma de las tres aptitudes el municipio con mayor área es ahora Villa Victoria seguido por Valle de Bravo, Otzoloapan y Villa de Allende respectivamente, con valores similares entre sí.

Igualmente, en el trabajo de investigación denominado *Determinación del Uso Potencial Agrícola Mediante Modelación Geoespacial y Análisis Multicriterio para la Cuenca Balsas Mezcala* que tuvo por objetivo “utilizar los SIG como apoyo para el planteamiento del uso potencial del suelo de la cuenca Balsas Mezcala” (Espejel-García et al.,2015); se recurrió a la técnica de análisis multicriterio, que permite abordar problemas de decisión multifactorial, como por ejemplo de tipo geo pedológicos, climatología y requerimientos edafo-climatológicos de los cultivos.

La región hidrológica Balsas Mezcala se encuentra ubicada en los estados de Guerrero y Puebla.

Por medio del material cartográfico se delimito el área y se recopiló información climática de las estaciones meteorológicas, la información geográfica, así como revisión bibliográfica desde bases de datos de las dependencias gubernamentales (INEGI, SEMARNAT, CONABIO, CONAGUA, IMTA), los datos se procesaron en el programa ArcGIS versión 10.2.2, para obtener las geodatabases y matrices geoespaciales que posteriormente sirvieron de input cartográfico para la evaluación multicriterio.

A partir de matrices geoespaciales y datos vectoriales se formaron datos ráster, mismos que se modelaron con algoritmos geoestadísticos y se identificó, a partir de un lenguaje estructurado, las zonas potenciales con altos niveles de aptitud, valiéndose de los atributos de las variables, a las cuales se les asignaron valores ponderados utilizando la metodología del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) en 1971 y retomado por la FAO para estudios de caso como Zonificación Agroecológica (ZAE).

El resultado de la modelación del suelo arrojó 4 clases con 6 niveles de aptitud (muy apto, apto, moderadamente apto, poco apto, muy poco apto y no apto): se obtuvo, por ende, “tierras con potencial irrigable, tierras para cultivos básicos, tierras para cultivo de hortalizas y tierras para el cultivo de especies de importancia industrial” (Espejel-García et al.,2015).

De otro lado, un estudio importante realizado por estudiantes de la Academia de Ciencias Agrarias en Brasil (Camargo et al, 2015) tuvo como objetivo desarrollar un Sistema de Información Geográfica (SIG) para almacenar información y ubicar geográficamente los apiarios en ocho municipios de la región oeste de Paraná. Además, se analizó la flora local, el uso del suelo y la producción de miel durante la cosecha de 2010 en dos de estos municipios: Marechal Cândido Rondon y Santa Helena.

Para lograr este objetivo, se empleó el software SPRING para establecer un radio de tres kilómetros alrededor de los apiarios. Se llevó a cabo entrevistas y registros de 126 apicultores y 383 apiarios. Utilizando imágenes, se identificaron áreas con una mayor y menor concentración de colmenas en Marechal Cândido Rondón (144 y 44 colmenas, respectivamente) y Santa Helena (165 y 40 colmenas, respectivamente), dentro del radio de tres kilómetros. Se seleccionaron 15 colonias en cada área para analizar los parámetros mencionados.

El análisis de agrupamiento multivariado reveló la formación de cinco grupos en función de la similitud en el manejo, lo que sugiere que las colmenas en el área más densamente poblada de Santa Helena tuvieron una producción promedio más alta, mientras que las colmenas en el área más densamente poblada de Marechal Cândido Rondón tuvieron una producción promedio más baja. La agrupación de las colmenas, las disparidades en la producción de miel y el estudio de la flora indicaron que estas diferencias podrían estar relacionadas con el manejo, las variaciones en la vegetación y el clima registrado durante el período de producción en las áreas investigadas.

Luna Chontal, Giovanni et al (2019) llevaron a cabo un estudio para caracterizar la producción apícola y la actividad trashumante en los municipios de Misantla, Yecuatla, Colipa, Juchique de Ferrer y Tenochtitlan. Para ello, realizaron entrevistas a técnicos, expertos en el sector apícola, productores de miel y representantes de asociaciones de apicultores de la región.

Además, utilizaron el dispositivo GPS modelo Garmín X15 para georreferenciar los sitios de asentamiento de los apiarios en el terreno. En su investigación, concluyeron que "el conocimiento de la vegetación espacial y temporal es importante para planificar el manejo y la movilidad de las colmenas" (p.2). Sin embargo, señalaron que los apicultores carecen de las herramientas necesarias y, por lo tanto, terminan ubicando los apiarios según la información proporcionada por los vecinos.

Para identificar nuevos emplazamientos, el apicultor recorre distancias considerables en sus vehículos para que de manera visual ubique terrenos según su experiencia y posteriormente reunirse con el dueño y llegar a un acuerdo por la colocación de sus colmenas. En tal sentido, 100%

de los apicultores entrevistados coinciden en la importancia de disponer de herramientas que les agilice ubicar zonas óptimas para instalar sus apiarios. (Luna Chontal, Giovanni et al 2019).

Como se puede observar, la investigación destaca que los apicultores entrevistados reconocen la importancia de contar con herramientas que faciliten la identificación de zonas óptimas para instalar sus apiarios. En este contexto, los Sistemas de Información Geográfica se presentan como una solución que podría ayudar a agilizar este proceso al proporcionar datos geoespaciales relevantes. La implementación de un SIG se considera crucial para mejorar las prácticas apícolas en las regiones, ya que estos sistemas podrían ofrecer a los apicultores una herramienta estratégica que les permita tomar decisiones más informadas y eficientes en cuanto a la ubicación de sus colmenas, la gestión de recursos y la planificación de rutas.

En Chile, Pantoja et al. (2017) también se realizó una investigación afín, denominada *Determination of suitable zones for apitourism using multi-criteria evaluation in geographic information systems: a case study in the O'Higgins Region, Chile*, cuyo objetivo principal era evaluar la idoneidad apiturística del Valle de O'Higgins.

El área correspondió a la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins en el centro de Chile (16.365 km²) en superficie.

Eligieron diez criterios (7 factores y 3 restricciones) que cumplieran los requerimientos de: características espaciales, disponibilidad de datos, uso del suelo, presencia de melíferas nativas y una considerable variabilidad de los datos en el área de estudio.

Asimismo, consideraron especies para el factor de vegetación. Tres usos del suelo puntuados como valores distintos de cero; el agrícola. Las tierras alcanzaron el valor más bajo. Este resultado se justifica debido a los pesticidas que son usados en zonas agrícolas; y como consecuencia se disminuye la reproducción de abejas.

Los autores concluyeron que la zona floral más importante de la región es idónea para la apicultura, se le atribuyó al clima una mayor importancia, debido a que donde el clima seco es más óptimo, los ecosistemas para las abejas son escasos.

Concluyeron también que el apiturismo es una forma innovadora de turismo, oportuno para el territorio objeto de estudio, el cual representa una oportunidad tangible para pequeños apicultores de las zonas rurales, como nuevos puestos de trabajo, apoyo a infraestructuras locales y promoción local.

Debórtoli et al., (2023) en Argentina, identifican la importancia y la oportunidad que representa para los apicultores, el uso de la Inteligencia Artificial y los Sistemas Inteligentes en la actividad empresarial, buscó que, a través de Sistemas Inteligentes de Soporte de Decisión, se pudiera apoyar la toma de decisiones en esta industria.

El objetivo global de esta Api fue diseñar estrategias comerciales para el sector apícola por medio de un software centrado en la toma de decisiones gerenciales valiéndose de inteligencia artificial. Presentaron un diseño conceptual de un Sistema Inteligente de Soporte de Decisión (IDSS), que incluye elementos informativos, el diseño de las interfaces, módulos predictores, optimizadores, y la creación de reportes.

Además, tiene en cuenta indicadores (KPI) que muestran cómo la empresa avanza hacia los objetivos. Será una herramienta de ayuda para los apicultores soportando decisiones empresariales sobre variables altamente volátiles y que difícilmente se identifican. Se recurrió a métodos de Machine Learning mediante un Algoritmo Genético como instrumento predictivo.

En el Perú, a pesar de la presencia de más de cuarenta mil apicultores no se disponía de información cartográfica sobre áreas óptimas para el desarrollo de la apicultura. (Cotrina-Sanchez et al., 2023). Por ende, realizaron un estudio que evaluara la idoneidad de la tierra para la actividad apícola en comunidades rurales e indígenas en el Amazonas, noroeste de Perú. Los autores integraron criterios biofísicos y socioeconómicos utilizando la técnica de Evaluación de Criterios

Múltiples (MCE), junto con técnicas de geo información y observación de la tierra de última generación, que permitió modelar y validar la aptitud para la apicultura. Se concluyó que la idoneidad determinada por variables biofísicos (65%) y socioeconómicos (35%). Se identificaron diferentes tipos de aptitudes distribuidas así: 315,6 km² en territorio de campesinos, 128,4 km² en comunidades nativas y 41,4 km² en áreas conservadas. Esta investigación suministró información decisiva para la planificación espaciotemporal del uso del suelo. Por ende, la investigación contribuyó a la promoción de actividades apícolas y en la toma de decisiones a nivel local.

2. Justificación

El conocimiento de la ubicación de los apiarios juega un papel importante en la efectividad de la polinización, biodiversidad de cultivos, producción de alimentos y sostenibilidad de los ecosistemas, ya que conlleva a tomar decisiones correctas en el planteamiento de políticas tendientes a favorecer el apoyo a instituciones del área de la apicultura y agricultura. No obstante, se ha visto limitado por una serie de factores como la falta de acceso, consolidación y procesamiento de información de la actividad apícola a nivel nacional, regional y local. De ahí que sea necesario el diseño de un Sistema de Información Geográfica dedicado a este tema, con el fin de abordar muchas limitaciones actuales, brindando las herramientas para efectuar un manejo adecuado de las colmenas, polinización efectiva, entre otros.

La importancia de este proyecto radica principalmente en que la utilización de un SIG para definir áreas potenciales para la ubicación de nuevos apiarios e identificar la ubicación de los apiarios existentes, puede ayudar a una planificación más efectiva y selectiva, aumentando los rendimientos de la actividad apícola. Con el análisis multicriterio se identificaron ubicaciones potenciales de apiarios en el Distrito de Barrancabermeja, lo que servirá como herramienta para los apicultores, agricultores y autoridades locales para evaluar eficazmente cómo se planificará la apicultura en la zona.

Otra de las razones de relevancia de esta investigación se encuentra en que, a través de la información obtenida, se tendría un recurso para establecer una zona de seguridad, en la cual se podrían crear políticas de conservación respecto al no uso de agroquímicos, demostrando el compromiso de las entidades competentes con la conservación de las abejas y la promoción de la seguridad alimentaria a través de la polinización.

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

Crear un sistema de información geográfico y realizar análisis multicriterio para la planificación de apiarios en el Distrito de Barrancabermeja.

3.2 Objetivos específicos

- Crear un sistema geográfico de información (Geodatabase) para los apiarios.
- Determinar las distancias medias entre apiarios, su distribución espacial e identificar patrones y tendencias espaciales relevantes para su manejo y generar salidas gráficas para informar la toma de decisiones.
- Desarrollar un análisis multicriterio para definir áreas y ubicaciones potenciales de apiarios y generar salidas gráficas para informar la toma de decisiones.

4. Marco teórico

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son idóneos para resolver cuestiones sobre planificación, gestión, distribución territorial o asignación de recursos. Son utilizados en diferentes disciplinas como en arqueología, estudios ambientales, cartografía, sociología, historia, marketing y logística, por su capacidad de procesar información de manera lógica y ordenada. (Sistema de Información Geográfica del Sector Educativo SI-GEO, 2024, párr. 1). Este marco teórico explora cómo los SIG pueden ser utilizados para mejorar las prácticas apícolas mediante el análisis espacial, la evaluación multicriterio y la toma de decisiones informadas

4.1 Fundamentos de los Sistemas de Información Geográfica (SIG)

4.1.1 Definición y Componentes de los SIG

Son herramientas eficaces que logran relacionar cualquier tipo de dato con una localización geográfica. (Sistema de Información Geográfica del Sector Educativo SI-GEO, 2024, párr. 1), éstos logran integrar hardware, software y datos geográficos para capturar, gestionar, analizar y visualizar información espacial. Su aplicación en la apicultura ha demostrado, según se mostró en los antecedentes, ser de gran valor para optimizar la producción de miel, gestionar las colmenas de manera eficiente y mitigar riesgos ambientales.

- **Hardware:** Computadoras y servidores donde se almacenan y procesan los datos.
- **Software:** Programas que permiten la manipulación y análisis de datos espaciales (por ejemplo, ArcGIS, QGIS).
- **Datos:** Información geoespacial, que incluye datos vectoriales (puntos, líneas y polígonos) y raster (imágenes de satélite, modelos de elevación).
- **Personal:** Profesionales capacitados en el uso de tecnologías SIG.
- **Métodos:** Procedimientos y técnicas para analizar y visualizar datos espaciales.

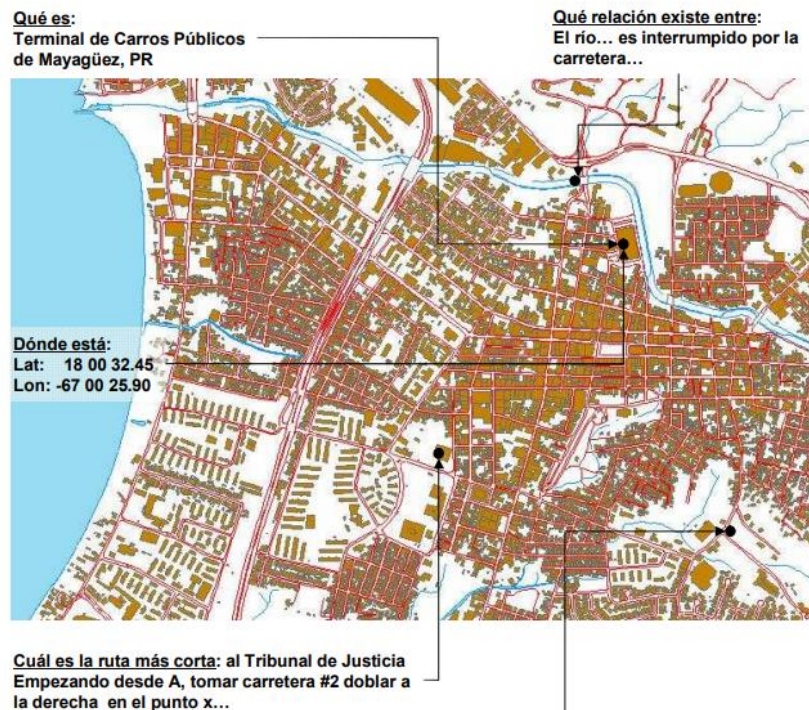
4.1.2 Funcionalidades de los SIG

Santiago (2005) describe las funcionalidades básicas de los SIG, que incluyen:

- **Captura de Datos:** Recolección de datos espaciales a través de GPS, sensores remotos, y otros métodos.
- **Almacenamiento y Gestión de Datos:** Organización y mantenimiento de bases de datos espaciales. Los tipos de codificación de los datos, pueden ser en representación vectorial, utilizando los elementos primitivos para representar la geografía, o la representación ráster, que se basa en la unidad llamada pixel o celda, que definen capas de información.
- **Análisis Espacial:** Evaluación de patrones y relaciones espaciales mediante técnicas de análisis geoespacial, siendo el componente más importante en un SIG, puesto que se trata de usar la información disponible para generar nueva información. Por ello, requiere que pueda tener funciones analíticas como selección geográfica, proximidad, superposición cartográfica, rutas óptimas.
- **Visualización de Datos:** Creación de mapas y otras representaciones gráficas para la interpretación de datos. Por ejemplo, alguna de las preguntas que pueden ser contestadas por un SIG, ¿qué es?, ¿qué relación existe?, ¿dónde está?, ¿cuál es la ruta más corta?, ¿qué pasaría sí?, ¿qué ha cambiado?

Figura 1

Preguntas que pueden ser contestadas por un SIG



Fuente: Fundamentos de ArcGIS versión Arc View 9.1

El software tiene gran utilidad en inventario de recursos, como catastros, recursos naturales, infraestructura y arqueológica. Además, ha aumentado el uso de dicha herramienta para la planificación y reglamentación de los territorios, delimitando áreas con base en criterios científicos.

También, es de gran provecho para el manejo y distribución de fondos, en programas sociales, educación y fondos de emergencias por desastres, en la medida en que puede caracterizar los territorios.

Por su parte, otras disciplinas han encontrado un uso provechoso, el geo mercadeo como herramienta para investigaciones de mercados, en geografía censal y datos estadísticos de encuestas. Asimismo, el análisis delictivo, utiliza la representación cartográfica (basándose en el análisis de puntos calientes) para identificar tendencias delictivas, ayudando a los policías a

predecir y detectar problemas. (Software de Representación Cartográfica SIG, Inteligencia de Esri, 2023)

4.1.3 Aplicación de los SIG en la Apicultura

4.1.3.1 Optimización de la Ubicación de Colmenas. La selección de ubicaciones óptimas para las colmenas es crucial para la producción apícola. Los SIG permiten analizar múltiples factores que afectan la apicultura.

En República Dominicana, se hizo una articulación entre actores¹ para elaborar el Plan Estratégico de la Apicultura en la Provincia de Monte Plata, donde se observó la interrelación entre la ubicación y distribución de los apiarios con su capacidad productiva.

Para realizar un análisis integrado y estratégico, se crearon mapas visuales representando los datos levantados durante el diagnóstico, que han permitido observar las dinámicas, relaciones y flujos entre los elementos y actores de la cadena apícola. La georeferenciación de todos los apiarios de la provincia, ha permitido visualizar sobre una base cartográfica la distribución de los emprendimientos en Monte Plata. Se nota una concentración de los mismos en dos zonas de la provincia: la primera en el este, entre los municipios de Monte Plata, Bayaguana y el distrito de Boyá y la segunda en el oeste, entre los municipios de Yamasá, Peralvillo y el distrito de Don Juan. (Escenario Estratégico de la Apicultura, 2012, p.7)

En los municipios de Pitalito y Timaná, Colombia, se evidenció que la mayor parte de la actividad apícola se localiza en zonas específicas, el corregimiento de Bruselas (en el Municipio de Pitalito) cuenta con aproximadamente el 51%, y la vereda Montañita (en Timaná), el 3,14% del total de los sistemas apícolas identificados. Esto se debe a factores que influyen directamente como

¹ Equipo interinstitucional compuesto por la Agencia de Desarrollo Económico Local de Monte Plata -ADELMOPLA, la Universidad Central del Este-UCE, la Dirección General de Ordenamiento y Desarrollo Territorial-DGODT, el Programa ART del PNUD, la Universidad Politécnica de Milán y el Fondo Provincial Milanés para la Cooperación Internacional. El proceso ha contado con el apoyo técnico del Centro para el Desarrollo Agropecuario y Forestal CEDAF y de la REDAPI.

las condiciones climáticas y algunas amenazas que limitan la buena producción de las colmenas. (Ruiz & Lozada, 2018).

A su vez, Peña & Zegers (2020) por medio de su estudio en Chile denominado Valoración de la Aptitud Vegetal para la Apicultura Orgánica, lograron aproximar la planificación del sistema productivo apícola nacional desde la escala local al uso de geo tecnologías. Concluyeron que los esfuerzos futuros podrían aplicar una metodología similar sobre áreas vegetación más complejas y heterogéneas, con el sentido de probar su versatilidad.

La preferencia de las abejas por algunas especies ha sido analizada etológicamente y en análisis melisopolinológicos de sus productos melíferos. Por ende, se identifica que la selección del forraje de las abejas depende de la abundancia de especies vegetales. (May y Rodríguez, 2012; Amaya, 2009; Rodríguez y Velásquez, 2011; Rallo, 1987; Solorzano y Licata, 2012; Insuasty et al., 2015 citados por Peña & Zegers 2020)

Por medio de estos estudios se infiere la capacidad del SIG para observar características puntuales para la apicultura como lo son;

- **Flora Apícola:** Identificación de áreas con alta densidad de flora melífera mediante análisis de imágenes satelitales y mapas de vegetación.
- **Acceso al Agua:** Evaluación de la proximidad a fuentes de agua, esencial para la salud de las abejas.
- **Condiciones Climáticas:** Análisis de datos climáticos históricos y actuales para seleccionar ubicaciones con condiciones favorables para las abejas.
- **Distancia a Zonas Urbanas y Agrícolas:** Identificación de ubicaciones alejadas de pesticidas y otras amenazas para las abejas.

4.1.3.2 Monitoreo y Gestión de Colmenas. Alleri et al., (2023) resalta que la tendencia de los apiarios es el manejo inteligente por medio de sistemas avanzados y herramientas digitales, tanto para mejorar la eficiencia, la productividad y como la sostenibilidad de la industria. Identificó los diversos beneficios que conlleva, entre ellos; el monitoreo en tiempo real, lo que conlleva a la detección temprana de problemas y minimiza las pérdidas tanto económicas como ambientales.

Por medio del SIG es posible hacer seguimientos del estado de salud de las colmenas por medio de sensores que detectan variables como temperatura, humedad relativa, sonidos, imágenes, peso, entre otros. Cada indicador tomado aisladamente es importante, sin embargo, es al analizarlos conjuntamente que se obtiene una visión panorámica de lo que está ocurriendo en la colmena, tal como se ha demostrado en estudios donde se construyen modelos de pronóstico complejos (Alleri et al. 2023).

Por lo anterior, los SIG facilitan el monitoreo y la gestión de colmenas a través de:

- **Seguimiento de Colmenas:** Uso de dispositivos GPS para rastrear la ubicación de las colmenas y gestionar su movilidad.
- **Salud de las Colmenas:** Integración de datos sobre la salud de las colmenas (enfermedades, parásitos) y análisis espacial para detectar patrones y focos de infección.
- **Rendimiento de la Producción:** Análisis de datos de producción de miel y otros productos apícolas para identificar áreas de alto y bajo rendimiento.

4.1.3.3 Evaluación de Riesgos Ambientales. Los SIG son esenciales para identificar y mitigar riesgos ambientales que pueden afectar la apicultura:

- **Pesticidas y Contaminantes:** Mapeo de áreas con uso intensivo de pesticidas y otras sustancias nocivas.
- **Cambio Climático:** Análisis de datos climáticos para predecir cambios en la flora y fauna que puedan afectar la apicultura.

- **Desastres Naturales:** Evaluación de riesgos de incendios forestales, inundaciones y otros desastres naturales.

4.1.3.4 Otros beneficios del SIG en la Apicultura. Una iniciativa denominada *Diseño de una estrategia de gestión apícola para la macrozona Vilches Curepto, Provincia de Talca*, de la Universidad de Talca, Navarro & Aguilera (2009) en asociación con la Red Apícola Regional en Chile, con el objetivo de diseñar una herramienta de gestión apícola para apoyar a los apicultores del sector con pautas de gestión para apiarios, en función de la vegetación melífera del área potencial de cada sector, identificó beneficios del SIG en el sector tales como:

- Estimar la carga apícola de un área específica e identificar las medidas de manejo técnico para maximizar el potencial productivo.
- Determinar áreas de pecoreo que definen los tipos de mieles.
- Programar las actividades productivas y comerciales con base al calendario floral de las especies arbóreas.
- Realizar un programa de proveedores según el tipo de miel a producir, determinando el mercado donde enfocar el producto melífero, en función de las preferencias de sus consumidores.
- Detectar la concentración excesiva de apiarios, encontrándose muy próximos dentro de cada sector, explicado en su mayoría por la locación de las viviendas de los apicultores y debido a los caminos de acceso disponibles.

4.2 Extensiones y Herramientas de ArcGIS

ArcGIS es un sistema completo que permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica. Es una plataforma con cobertura global para crear y

manejar sistemas de información geográfica (SIG). ArcGIS es utilizada por personas de todo el mundo para usar el conocimiento geográfico al servicio de los sectores del gobierno, la empresa, la ciencia, la educación y los medios. ArcGIS permite publicar la información geográfica para que sea de libre acceso a los usuarios. El software está disponible a través de navegadores Web, smartphones y equipos de escritorio. (ArcGIS Resources, s.f)

Dentro de la gama de Toolbox y complementos del ArcGIS, según la utilidad de cada una, para la presente investigación se hizo necesario hacer una revisión bibliográfica en el sitio web de ESRI, para conceptualizar sobre las herramientas y extensiones que se relacionan a continuación:

4.2.1 Usos de las Extensiones y Herramientas de ArcGIS

4.2.1.1 ArcToolbox: La ventana de ArcToolbox tiene accesos directos a las cajas de herramientas.

Las cajas de herramientas de la ventana se comportan como capas de entidades en ArcMap: si elimina una capa de entidades de la tabla de contenido de ArcMap, el dataset al que hace referencia no se elimina. Sin embargo, si comienza a editar el contenido de la capa y elimina una entidad, la entidad se elimina del dataset en el disco. Lo mismo ocurre con las cajas de herramientas de la ventana: si elimina uno de sus miembros (un conjunto de herramientas o una herramienta), éste se elimina permanentemente de la caja de herramientas.

Tiene herramientas conexas como,

- **Buffer:** Las herramientas de proximidad se clasifican según el tipo de entrada que acepte la herramienta: entidades o rásteres.

Las herramientas que aceptan entidades difieren en los tipos de salida que producen. Por ejemplo, la herramienta Zona de Influencia genera entidades poligonales, que se pueden

utilizar como entrada para las herramientas de superposición o de selección espacial, tales como: Seleccionar capa por ubicación.

Las herramientas de distancia basadas en ráster, contiene herramientas que crean rásteres que muestran la distancia de cada celda de un conjunto de entidades o que asignan cada celda a la entidad más cercana. Éstas pueden calcular la ruta más corta en una superficie. Las superficies de distancia, se utilizan como entradas para análisis de superposición; por ejemplo, en un modelo de adecuación del hábitat, la distancia desde los arroyos podría ser una variable significativa para algunas especies.

- **Spatial Join:** De las preguntas más básicas que se hacen sobre un SIG es: ¿qué está encima de qué? Por ejemplo: ¿Qué uso del suelo está encima de qué tipo de suelo? ¿Qué parcelas están dentro de las llanuras aluviales de 100 años? ¿Qué carreteras están dentro de qué países? ¿Qué pozos están dentro de bases militares abandonadas?

En una operación de superposición se materializan todos los atributos de las entidades que forman parte de la superposición.

- **Clip:** Los datasets SIG con frecuencia tienen más datos de los que el investigador requiere. Por esto, hay métodos para extraer datos de datasets más complejos y de mayor tamaño. Se pueden seleccionar, recortar o disolver entidades. A través de la herramienta seleccionar; permiten seleccionar entidades de manera interactiva y ver la selección resaltada como parte de una capa de entidades.

La herramienta recortar; extrae datos a través de un recorte. Ambos métodos superponen la clase de entidad original y otra clase de entidad para crear nuevas clases de entidades de salida. Y la herramienta disolver; combina polígonos que comparten un valor en polígonos más grandes. Esto es útil cuando se tiene datos que están divididos en varias categorías detalladas y se necesita más datos agregados.

- **Thiessen Polygons:** Los polígonos de Thiessen se utilizan en lugar de la interpolación para generalizar un conjunto de mediciones de muestra para áreas más cercanas a ellos. También se le conoce como Polígonos proximales. Se puede decir que modelan el área de cuencas para los puntos, ya que el área dentro de cualquier polígono dado está más cerca del punto de ese polígono que cualquier otra. La herramienta crea entidades poligonales que dividen el espacio disponible y lo asignan a la entidad de punto más cercana. El resultado es similar a la herramienta Asignación euclidiana para rásteres.

4.2.1.2 Spatial Analyst: Ofrece una gama de recursos para el análisis y el modelado espacial. Puede crear, consultar, trazar mapas y analizar datos de rásteres basados en celdas; llevar a cabo un análisis integrado del ráster/vector; obtener información nueva de los datos existentes; consultar la información a través de varias capas de datos; así como integrar completamente los datos de rásteres basados en celdas con fuentes de datos vectoriales tradicionales.

- **Reclassify:** Con la barra de herramientas de clasificar puede realizar la clasificación de imagen de data sets ráster multibanda con herramientas de geoprocesamiento e interactivas.

La barra de herramientas Clasificación de imagen es única para la clasificación de imágenes. Proporciona herramientas interactivas y fáciles de usar para la creación y evaluación de muestras de capacitación necesarias para la clasificación supervisada. También puede acceder a varias herramientas de geoprocesamiento para el análisis multivariado.

- **Euclidean Distance:** Para cada celda, calcula la distancia euclidiana a la fuente más cercana. Las herramientas de distancia euclidiana representan la relación de cada celda con una fuente o un conjunto de fuentes en función de la distancia en línea recta.

Hay tres herramientas euclidianas:

La distancia euclidiana facilita la distancia desde cada celda del ráster hasta la fuente más cercana. Ayuda a responder, por ejemplo, ¿cuál es la distancia a la ciudad más cercana. *La dirección euclidiana* provee la dirección de cada celda a la fuente más cercana. Ejemplo: ¿Cuál es la dirección a la ciudad más cercana? Y *la asignación euclidiana* identifica las celdas que se fijarán a una fuente en función de la proximidad más cercana. Respondería la pregunta, ¿cuál es la ciudad más cercana?

- **Raster Calculator:** La herramienta permite crear y ejecutar una expresión de Álgebra de mapas para generar un ráster de salida.

4.3 Evaluación Multicriterio (EMC) en la Apicultura

4.3.1 Fundamentos de la Evaluación Multicriterio (EMC)

La Evaluación Multicriterio (EMC) es una técnica que permite tomar decisiones considerando múltiples criterios que pueden ser conflictivos entre sí. En el contexto de los SIG, la EMC se utiliza para integrar y analizar diversos factores espaciales y no espaciales.

Según Bonet (2001), citando a Eastman (1997) menciona que las metodologías de análisis multicriterio implantadas en un SIG son técnicas útiles para resolver problemas de ubicación de actividades en un medio determinado, cuando esta ubicación depende de múltiples factores difícilmente evaluables. Los SIG facilitan estas decisiones puesto que representan muchos criterios como capas de información temática o sectorial. Al integrar dichas capas mediante los SIG usando las técnicas de Evaluación Multicriterio se logra un modelo final que muestra la idoneidad de cada punto del territorio una la actividad determinada.

Por ende, la idoneidad de cada punto del territorio para la apicultura estará en función de unos parámetros: $I(x) = f(a, b, c, d, e, \dots, n)$, siendo I, la capacidad de cada punto para tener una colmena y, a, b, c, d, e, ..., n, son cada uno de los parámetros ambientales de cuya idoneidad parcial depende la capacidad global de cada punto para implantar una colmena.

4.3.2 Aplicación de la EMC en la Apicultura

Así, Jaurez (2017) refiere la utilidad de La EMC en la apicultura para:

- **Seleccionar Ubicaciones Óptimas para Colmenas:** Integrar criterios como disponibilidad de flora melífera, proximidad a fuentes de agua, condiciones climáticas, y riesgos ambientales.
- **Gestionar Recursos de Forma Eficiente:** Evaluar la distribución de recursos apícolas considerando factores como la salud de las colmenas y la producción de miel.
- **Mitigar Riesgos:** Analizar y priorizar acciones de mitigación de riesgos ambientales y enfermedades que afectan a las abejas.

4.3.3 Componentes de la EMC

Los componentes de la evaluación multicriterio, se relacionan a continuación,

- **Objetivos y Alternativas.** Se inicia con uno o varios objetivos que impliquen problemas de planificación, decisión o localización-asignación de actividades, los cuales deben estar basados en criterios previamente establecidos (Gómez & Barredo, 2006).
- **Criterios.** Estos se consideran la base para la toma de decisiones, debido a esto, elegirlos es primordial para analizar cada alternativa. Se clasifican en factores y limitantes y se representan en mapas.

Los factores muestran la capacidad de una alternativa específica para alcanzar el objetivo y se miden en escala continua. Por otro lado, los limitantes restringen la disponibilidad de una alternativa para la actividad evaluada, (Gómez & Barredo, 2006). A Los criterios se les asignan pesos, que definan el valor de cada criterio.

- **Reglas de decisión.** En este punto se combinan los criterios para llegar a una evaluación y así poder comparar y evaluar. Este procedimiento conlleva a una evaluación particular a partir de un método lógico que compara las alternativas según su capacidad para cumplir el objetivo.

Las reglas de decisión pueden ser simples o complejas considerando según el objetivo propuesto, los métodos de EMC facilitan integrar de manera coherente los diferentes criterios por medio de reglas de decisión específicas. (Gómez y Barredo, 2006).

- **La evaluación:** Definidas las reglas de decisión, todos los criterios son analizados para generar el modelo de decisión (Gómez & Barredo, 2006)

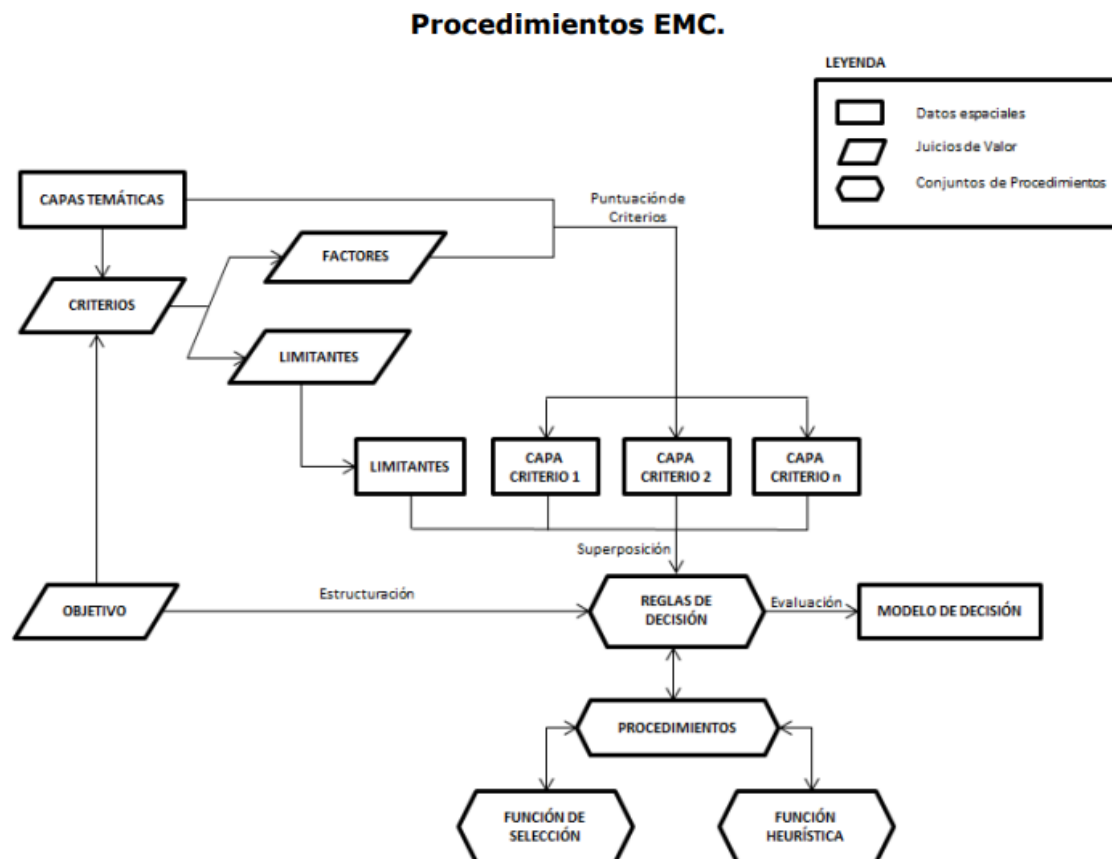
4.3.4 Procedimiento de la EMC en SIG

El procedimiento general para realizar una EMC en un entorno SIG incluye:

- **Definición de Objetivos y Criterios:** Establecer los objetivos de la evaluación y seleccionar los criterios relevantes.
- **Recolección y Preparación de Datos:** Recopilar datos espaciales y no espaciales necesarios para los criterios seleccionados.
- **Asignación de Pesos a los Criterios:** Determinar la importancia relativa de cada criterio mediante técnicas como el Análisis de Jerarquía Analítica (AHP).
- **Análisis y Agregación de Datos:** Utilizar técnicas de SIG para analizar y combinar los datos según los pesos asignados.
- **Evaluación y Toma de Decisiones:** Interpretar los resultados del análisis para tomar decisiones informadas.

Figura 2.

Procedimiento EMC



Fuente: Gómez y Barredo, 2005.

Fuente. Investigación *Localización Óptima de Apiarios Mediante Evaluación Multicriterio en La Región XV del Estado de México*

La Figura 2 muestra el procedimiento de EMC con un objetivo simple integrado por los componentes principales del método.

4.4 Futuras Líneas de Investigación

El futuro de los SIG está relacionado con las nuevas tecnologías que actualmente se están abriendo paso en las diferentes disciplinas, como los drones, el Big Data, modelado predictivo y la IA.

- **Integración de Drones y SIG:** Brock, S., & Brislawn, C. (2020) hablan del uso de drones para la captura de datos geoespaciales en tiempo real. Además, que éstos pueden realizar inspecciones de colmenas de manera no invasiva, monitorear la salud de las abejas, y detectar posibles amenazas; facilitar el mapeo de áreas de floración y fuentes de agua, optimizando así, las rutas de recolección de polen.
- **Modelado Predictivo:** Schurischuster, R., et al. (2019) refieren sobre el desarrollo de modelos predictivos basados en datos SIG para anticipar cambios en la producción apícola. Esto se traduce en la predicción de patrones de floración, el comportamiento de las abejas y las condiciones climáticas, lo que permite a los apicultores planificar con anticipación y minimizar riesgos.
- **Big Data y SIG:** La Big data permite la integración de datos de diversas fuentes, como sensores, imágenes satelitales y datos climáticos, para un análisis más completo. Esta integración mejora las decisiones y la gestión de recursos naturales, beneficiando a todas las partes interesadas. (Kitchin, R. 2014). Por ende, la aplicación de técnicas de Big Data para el análisis de grandes volúmenes de datos geoespaciales en apicultura, afinaría el uso de SIG para los apicultores.

La sinergia entre drones, modelado predictivo y Big Data está transformando tanto los SIG como la apicultura. Estas tecnologías no solo aumentan la eficiencia y la precisión en la recolección y análisis de datos, sino que también permiten una gestión más sostenible y proactiva de los recursos. La implementación de estas innovaciones es esencial para el futuro de estos campos, promoviendo un desarrollo más resiliente.

5. Metodología

5.1 Ubicación

Este proyecto se llevó a cabo en el Distrito de Barrancabermeja, perteneciente a la subregión Yarigüíes, que abarca un área de 1,347.83 km² con una forma aproximadamente cuadrangular. Esta región incluye una parte del valle interandino del Magdalena Medio, extendiéndose desde las terrazas aluviales altas hacia el noroeste, cubriendo terrazas bajas, colinas, bajos y ciénagas, hasta la llanura aluvial del río Magdalena.

El Plan de Ordenamiento Territorial del Distrito basado en el Acuerdo 033 de 2022, identifica que el 2.24% del territorio es urbano, ubicado en la cabecera distrital a orillas del río Magdalena, a una altitud de 75.94 msnm, en las coordenadas 7° 3' 43" latitud Norte y 73° 53' longitud Oeste. Esto indica que el 97.76% del territorio es rural.

Tabla 1

Relación de áreas según el POT.

Clase de suelo	Área del suelo	Proporción
Urbano	3030 Ha	2,24%
Expansión	565,37 Ha	0,41%
Rural	130.512 Ha	96,53%

Fuente: Plan de Ordenamiento Territorial Distrito Barrancabermeja 2022- 2035

Barrancabermeja limita al norte con Puerto Wilches, Sabana de Torres y Girón; al sur con Puerto Parra, Simacota y San Vicente de Chucurí; al este con San Vicente de Chucurí y Betulia; y al oeste con Yondó (Antioquia) a través del río Magdalena.

El distrito está dividido en seis corregimientos: El Llanito, El Centro, La Fortuna, Meseta San Rafael, San Rafael de Chucurí y Ciénaga del Opón, que ocupan una extensión de 1,313.84 km², equivalente al 97.48% del área total del municipio.

Figura 3

Esquema de localización del Distrito de Barrancabermeja



Fuente: Plan desarrollo 2024-2027

5.2 Clima

La precipitación media multianual obtenida para el periodo de registro de los últimos 29 años, 1991 a 2020, es igual a 2992.9 mm con un promedio mensual de 249,4 mm, que se considera moderadamente alta. Se tienen precipitaciones medias máximas superiores a 402,55 mm en el mes

de octubre y las menores en el mes de enero con 60.6 mm, temperatura media de 27.8° C, los datos son suministrados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) y corresponden a series multianuales de 29 años, partiendo del año 1991 hasta el 2020.

Tabla 2*Datos Climáticos Distrito de Barrancabermeja*

CÓDIGO	NOMBRE ESTACIÓN	MUNICIPIO	CAT	ELEVACIÓN	COORDENADAS		PERIODO DE REGISTRO
				(msnm)	LONGITUD	LATITUD	
23155030	El Centro	Barrancabermeja	SP	126	-73,80861111	7,02638889	1991-2020

Fuente: IDEAM

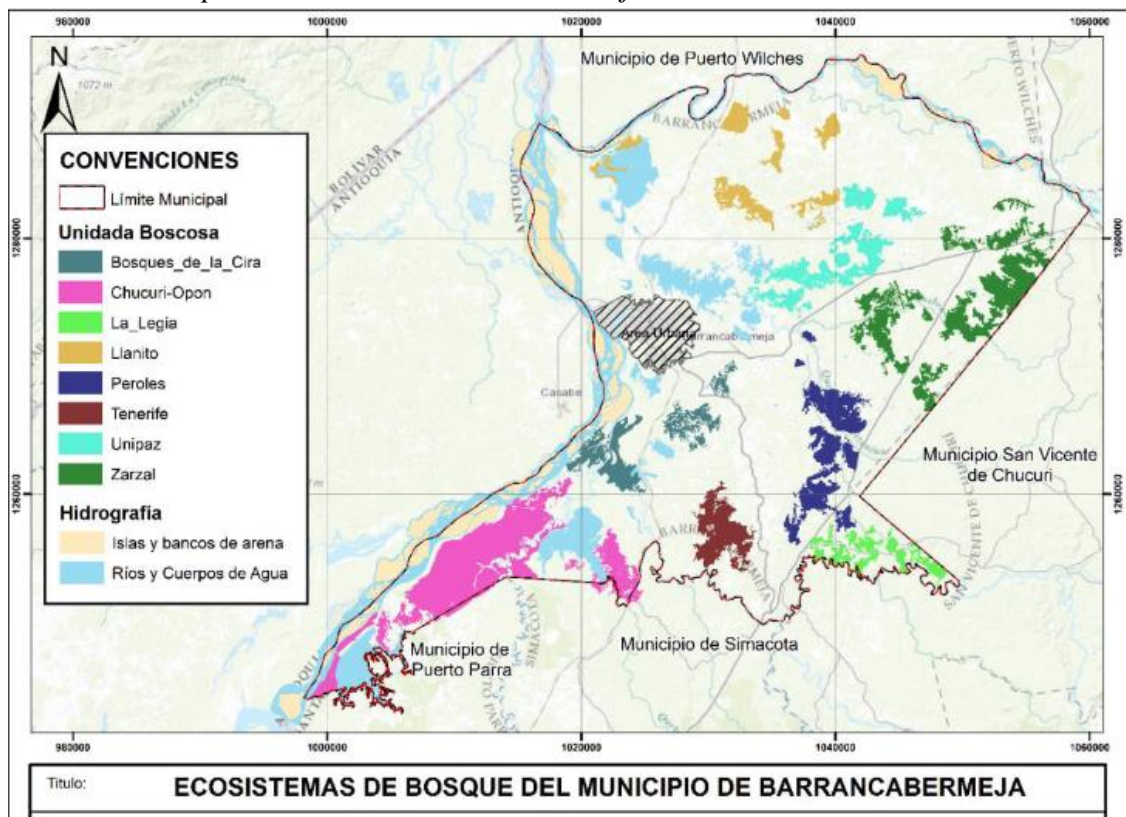
5.3 Ecosistemas y cobertura vegetal

Barrancabermeja cuenta con una notable biodiversidad de flora y fauna gracias a su significativo ecosistema acuático (22 cuerpos hídricos de importancia, según el Plan de Manejo de Humedales CAS -2006) y dispone de un sistema de áreas protegidas reguladas por el Decreto 2372 de 2010 y el Documento CONPES 3680. El área del Distrito de Barrancabermeja representa el 65% de las áreas protegidas del territorio, principalmente en forma de ecosistemas acuáticos estratégicos, de los cuales el 48% está integrado en el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP) y el 9% pertenece al DRMI.

Para identificar los ecosistemas de bosques del Distrito, se consultó el Diagnóstico Línea Base y Propuesta de Agenda para la Confirmación del Sistema Local de Áreas Protegidas de Barrancabermeja, consultoría del 2015, donde se ubicaron las unidades boscosas más representativas, tal como se observa en la figura 4.

Figura 4

Unidades Boscosas Representativas de Barrancabermeja



Fuente: Plan de Manejo Ambiental de Mares Auto 2321 2005

El ecosistema de bosque abarca 24.700,7 Ha, aproximadamente el 18% del perímetro municipal, distribuidas como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3

Áreas Boscosas Representativas de Barrancabermeja

Unidad Boscosa	Área (Ha)
Bosques de la Cira	2091,2
Chucurí -Opon	7015,2
La Legia	1363,7

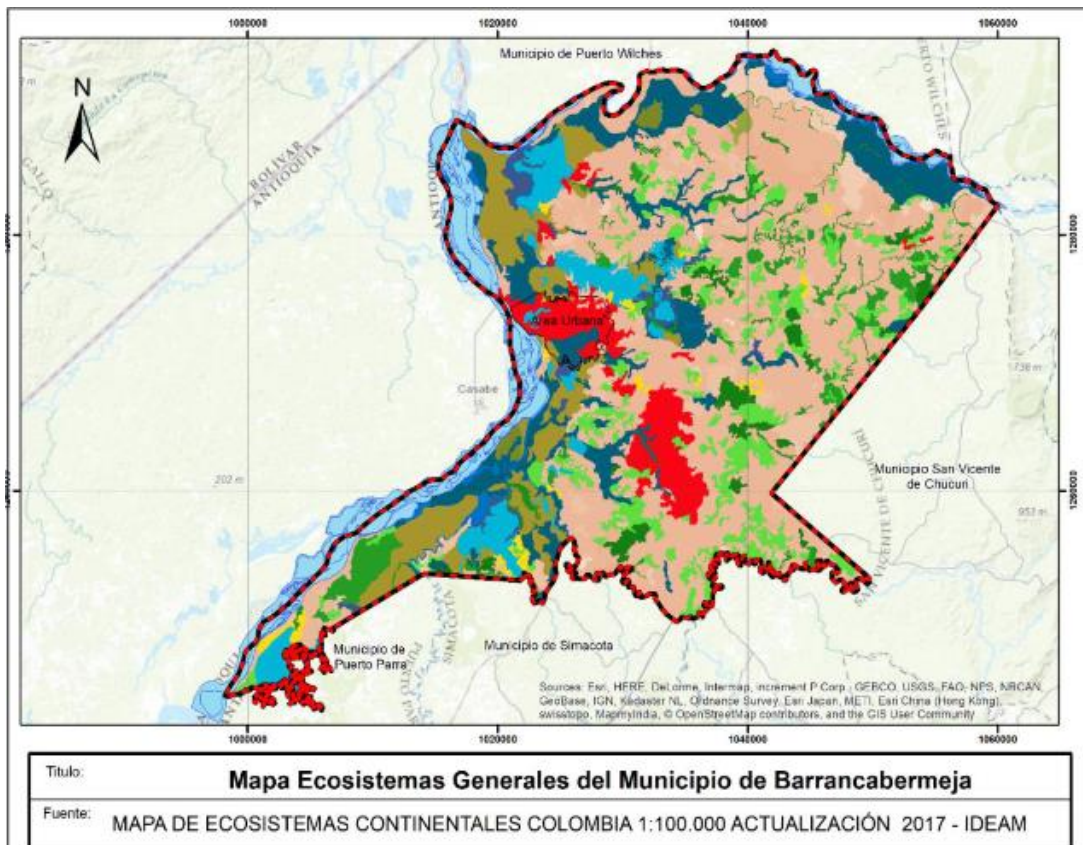
El Llanito	2255,6
Peroles	2923,3
Tenerife	1571,5
Unipaz	2834,6
Zarzal	4645,5

Fuente: Plan de Ordenamiento Territorial 2022- 2035

Además, el estudio Ecosistemas Continentales, Costeros y Marinos de Colombia, realizados por el IDEAM, Alexander Von Humboldt, SINCHI, INVEMAR, IIAP, Parques Nacionales e IGAG en su entrega de 2017, identificó 24 tipos de ecosistemas presentes a nivel local, donde destaca la categoría agroecosistemas, definida como “áreas donde el hombre ha desarrollado actividades primarias del sector agropecuario incluyendo cierto grado de transformación de productos en ciertos sectores donde los gremios de la producción lo han podido alcanzar; representan el 43% del área municipal”. ” (IDEAM, Alexander Von Humboldt, SINCHI, INVEMAR, IIAP, Parques Nacionales e IGAG, 2017 citados Plan de Ordenamiento Territorial, 2022, p. 293.)

Figura 5.

Mapa de Ecosistemas Generales del Distrito de Barrancabermeja



Leyenda

MEC_2017_Barrancabermeja

ECOSISTEMA GENERAL

- | | |
|--|--|
| Agroecosistema de cultivos transitorios | Bosque de galería basal seco |
| Agroecosistema de mosaico de cultivos y espacios naturales | Bosque de galería inundable basal |
| Agroecosistema de mosaico de cultivos y pastos | Bosque fragmentado con vegetación secundaria |
| Agroecosistema de mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales | Bosque inundable basal |
| Agroecosistema de mosaico de pastos y espacios naturales | Fondos duros no coralinos |
| Agroecosistema forestal | Herbazal basal húmedo |
| Agroecosistema ganadero | Herbazal inundable basal |
| Agroecosistema palmero | Laguna Aluvial |
| Arbustal basal húmedo | Río de Aguas Blancas |
| Arbustal inundable basal | Sabana estacional |
| Bosque basal húmedo | Territorio artificializado |
| Bosque de galería basal húmedo | Transicional transformado |
| | Vegetación secundaria |
| | Zona pantanosa basal |

fuentes: modificado de (IDEAM, 2017)

Se han detectado amplias zonas de deforestación, y años de intervención industrial con prácticas de manejo y uso de recursos naturales inadecuadas, junto con el cambio climático y la degradación de ecosistemas estratégicos, han acelerado la degradación, incrementando los riesgos y la pérdida de estructura y calidad ambiental.

5.4 Zonas agrícolas

En Colombia, el IGAG clasifica los suelos según Klingebiel y Montgomery, siguiendo las características propias del país. La clasificación abarca 8 clases, en donde, al aumentar su número y limitaciones, aumenta su valor numérico. Se entiende que los suelos clase VIII presentan las mayores limitaciones en su uso.

Tabla 4

Clasificación Agrológica del Suelo de Barrancabermeja

Clases agrológicas de suelos	de Área en Ha	Aptitud
Clase III	8.227,86 (6,08%) del área del municipio.	Agropecuaria
Clase IV	70896,01 (52,37%) del área del municipio.	Agropecuaria
Clase V	23423,92 (17.30%) del área del municipio	Agropecuaria con limitantes como el drenaje impedido.
Clase VI	1203,66 (0,89%) del área del municipio	Se destinan a protección
Clase VII	203,32 (0,15%) del área del municipio	Inapropiada para cultivos y pastoreo. Se destina a protección.

Clase VIII	15856,59 (11,71%) del área del municipio	Inapropiado para uso agropecuario. Uso paisajístico y recreación
------------	--	--

Fuente: Plan de Ordenamiento Territorial 2022-2035

El área total del distrito asciende a 135.401,73 has. que consolidadas las áreas restringidas o afectaciones en razón a determinantes ambientales, en el suelo del municipio, se tiene que existe una disponibilidad de 48.389,22 has adecuadas o compatibles para usos agropecuarios, que corresponden al 35,74% del suelo rural del Distrito según lo establecido en el Plan de Ordenamiento Territorial y el DRMI Yarigués y San Silvestre, lo cual evidencia una baja oferta de áreas para las actividades agropecuarias y una gran cantidad de área en posibles conflictos de uso de suelo.

5.5 Uso de la tierra

Los suelos en Barrancabermeja son poco fértiles y no son completamente adecuados para la agricultura sin la implementación de prácticas agroecológicas apropiadas. Se trata de suelos de clases III y IV en la zona aluvial del río Magdalena y de clases VI y VII en la zona de vertiente. Las áreas de cultivo se limitan a las zonas más fértiles, como las planicies aluviales e islotes del río Magdalena, que en época de invierno se enriquecen con materia orgánica y minerales debido a las inundaciones. Sin embargo, estas inundaciones también representan un factor limitante debido al riesgo económico que implica para los campesinos sembrar en estas zonas.

5.6 Enfoque Metodológico

El presente trabajo adopta un enfoque mixto que integra tanto métodos cualitativos como cuantitativos. Este enfoque se sustenta en un análisis detallado de los apiarios, utilizando una metodología diversa para alcanzar los objetivos específicos del proyecto. Entre las técnicas empleadas se encuentran el análisis de superposición (Spatial Join), el modelado de distribución espacial y el análisis multicriterio.

5.7 Tipo de Estudio

De acuerdo con Sampieri et al. (2006) esta investigación corresponde a un estudio descriptivo y correlacional debido a que se realizó la recopilación de la información sobre la ubicación y características de los apiarios existentes en el Distrito de Barrancabermeja, para su posterior análisis para la toma de decisiones informadas. Además, se evaluaron zonas potenciales para la ubicación de nuevos apiarios, con el fin de mejorar la planificación de la actividad apícola y la conservación de la abeja “*Apis mellifera*”. Esto implicaría analizar si existe una correlación entre las áreas potenciales y las ubicaciones actuales de los apiarios en el distrito de Barrancabermeja.

Estudio Descriptivo: Consiste en la recopilación de la información sobre la ubicación y características de los apiarios en el Distrito de Barrancabermeja, para su posterior procesamiento.

Estudio de Correlación: Consiste en evaluar la correspondencia entre las áreas potenciales y las ubicaciones actuales de los apiarios en el distrito de Barrancabermeja.

Estudio de Georreferenciación: Consiste en la georreferenciación de los apiarios y su relación con otros elementos geoespaciales como cobertura vegetal, hidrografía, infraestructura y determinantes ambientales. Esto implica mapear y analizar datos geoespaciales.

5.8 Procedimiento

A continuación, se describe el procedimiento seguido para el desarrollo de la investigación y la obtención de los resultados buscados.

Fase I. Crear un sistema geográfico de información (geodatabase) para los apiarios

Actividad 1. Visitas de campo: con base a la información suministrada por la secretaría de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural de la Alcaldía de Barrancabermeja, se realizaron visitas de campo durante cinco (5) meses, se visitó un total de treinta (30) apiarios ubicados en los diferentes corregimientos del Distrito.

La toma de la información se realizó por medio de entrevistas donde se recopilaban datos relevantes de los apiarios y sus propietarios como nombre del apicultor, cédula del apicultor, ubicación del apiario, nombre de predio, tenencia, vereda, corregimiento, nombre de apiario y número de colmenas. Así mismo, en cada visita se preguntaba al apicultor si tenía conocimiento de otros apiarios, con el fin de actualizar y completar la información.

Para la georreferenciación in situ el apiario, fue necesario utilizar el traje adecuado que consiste, el velo, el overol, los guantes, las botas con la protección adecuada y el ahumador. Por otra parte, como herramienta de localización se utilizó el Sistema de Posicionamiento Global (GPS), de marca eTrex 20X Garmin con sistema de GPS y GLONASS.

Figura 6

Implementos de seguridad



Fuente. Equipo técnico de la investigación.

Figura 7

Fotografía Apiario



Fuente: Equipo técnico de la investigación

Figura 8

Visita de campo y toma de ubicación



Fuente. Equipo técnico de la investigación.

Actividad 2. Selección de software y herramientas SIG. Para el desarrollo del proyecto, teniendo en cuenta las necesidades, se escogió el software ArcGIS 10.8, una versión del software GIS (Sistema de Información Geográfica) desarrollado por Esri. ArcGIS 10.8 ofrece una amplia gama de herramientas y funcionalidades para el análisis, visualización y gestión de datos geoespaciales.

Con este software, se pueden crear mapas detallados, realizar análisis espaciales avanzados y gestionar grandes volúmenes de datos geográficos de manera eficiente. Además, es compatible con una variedad de formatos de datos y proporciona integraciones con otras plataformas y aplicaciones, facilitando la colaboración y el intercambio de información entre diferentes disciplinas y sectores.

Para el proyecto, la alcaldía de Barrancabermeja, específicamente, la secretaría de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural fue de gran ayuda, ya que facilitó los shapefiles descritos en

la tabla 5, Shapefile para el proyecto) los cuales fueron insumos clave para la realización del proyecto.

Tabla 5

Shapefile para el proyecto

Nombre shapefile	Atributos
Areas_Forestales_Protectoras	Área total, NOMBRE
DRMI_San_Silvestre	Área, categoría de zonificación
DRMI_Yariguies	Área protegida, zona, área, ap
Ley_2_del_59	Nombre, Área
POMCA_Sogamoso	Nomenclatura, d CAT ORD, d ZO US MA, d SZO US M, d TIPO ZON, Área
Ciénaga	Nombre GEO, Área
Drenajes_dobles	Nombre GEO, Área
Drenajes_sencillos	Nombre GEO, Área
Rio_Magdalena	Nombre, Fuente, Área
Rio_Sogamoso	Nombre, Fuente, Área
Aeropuerto	Área
Equipamiento_rural	Nombre, Escala, Observación, Tipo, Actuación, CP, U R, Clasificación, Área
Red_vial	Vía, jerarquía, longitud

Nombre shapefile	Atributos
Redes_electricas	Expediente, Operador, Nomenclatura, Tipo de infraestructura, Longitud
Relleno_sanitario	Área SFAVMP, Área
Cabecera municipal	Código, Nombre, Capital, Tipo
Corregimientos	Nombre, Área
Departamentos	Departamento, Cod. Departamento, Área
Municipios	Municipios, CDANE, NOMBRE D, COD DPTO, COD MPI, MUNI PLANT, Área
Veredas	Vereda, corregimiento, Área
Areas_agricolas_y_pastos	Uso actual, Tipo de US, Nivel 1, Nivel 2, Nivel 3, Nivel 4, Área
Areas_produccion_sostenible	Observación, vocación, Área
Zona Forestal	Uso actual, Tipo de US, Nivel 1, Nivel 2, Nivel 3, Nivel 4, Área

Fuente. Datos obtenidos de la Secretaría de agricultura, pesca y desarrollo rural.

Los shapefiles se entregaron en el sistema de coordenadas CTM12, cuyos parámetros se describen a continuación:

PROYECCIÓN CTM2

Sistema proyectado de coordenadas: CTM12

Proyección: Transversa de Mercator

Falso Este: 5000000.00000000

Falso Norte 2000000.00000000

Meridiano central: -73.00000000

Factor de Escala: 0.99920000

Latitud de Origen: 4.00000000

Unidad Lineal: Metros

Sistema de Coordenadas Geográficas: GCS_MAGNA

Datum: D_MAGNA

Meridiano de Origen: Greenwich

Unidad Angular: Grados

Buscando facilitar el uso del sistema de información geográfico para la alcaldía, se decidió trabajar con el mismo sistema de coordenadas (CTM12), por lo tanto, las capas y mapas que se generaron en este proyecto tienen la misma proyección.

A lo largo del proyecto se trabajó con varias extensiones y herramientas que ofrece el software, estas se describen en la tabla 6 (Extensiones- Herramientas ArcGIS)

Tabla 6

Extensiones- Herramientas ArcGIS

Actividad	Extensiones	Herramientas
Lectura de base de datos creada en Excel y georreferenciación de apiarios	ArcMap	Add Data, Display XY data
Creación del área recorrida por las abejas	ArcToolbox	Buffer (Análisis de proximidad)
Superposición de apiarios en corregimientos	ArcToolbox	Spatial Join (Análisis de superposición)
Recorte de capas al área recorrida por las abejas	ArcToolbox	Clip (Herramientas de extracción)
Análisis de distribución espacial	ArcToolbox	Thiessen Polygons (Análisis de proximidad)
Reclasificación de capas	Spatial Analyst	Reclassify (Herramienta de reclasificación)
Distancia euclidiana	Spatial Analyst	Euclidean Distance (Herramienta de distancia)
Análisis multicriterio	Spatial Analyst	Raster Calculator

Fuente. Equipo técnico de la investigación.

Donde ArcMap corresponde a la interfaz principal para la visualización y edición de datos, ArcToolbox al conjunto de herramientas para análisis y geoprocésamiento, Spatial Analyst a la extensión para modelado espacial, Spatial Statistics a la extensión para análisis estadísticos espaciales.

Fase II. Determinar las distancias medias entre apiarios, su distribución espacial e identificar patrones y tendencias espaciales relevantes para su manejo y generar salidas gráficas para informar la toma de decisiones.

Actividad 3. Análisis Espacial y Generación de Mapas:

Se realizó un análisis para entender la distribución espacial de los apiarios existentes en el distrito de Barrancabermeja de manera eficiente.

Para este análisis, se emplearon varias herramientas del software ArcGIS, incluyendo la herramienta Polígonos de Thiessen, que permitió identificar las áreas de influencia de cada apiario. Además, se llevaron a cabo otros análisis de la distribución espacial de los apiarios existentes, involucrando elementos importantes como límites políticos, límites ecológicos, hidrografía, infraestructura, cultivos, zona forestal, determinantes ambientales, entre otros, con el objetivo de proporcionar a la alcaldía una herramienta que mejore la toma de decisiones respecto a la actividad apícola del distrito.

Por otra parte, buscando analizar información relevante en la apicultura, se realizó una serie de mapas que responden las siguientes preguntas:

1. ¿Cuál es el corregimiento que tiene más apiarios?

Se utilizaron las capas de corregimientos y apiarios existentes y con la herramienta Spatial Join (Análisis de superposición) del ArcToolbox se realizó el conteo de apiarios por corregimiento.

2. ¿Los límites ecológicos de las abejas coinciden con los límites políticos de Barrancabermeja? ¿Cuáles otros municipios se ven influenciados por la actividad apícola de Barrancabermeja?

Teniendo en cuenta que las abejas realizan un recorrido de 3 Km, se realizó un buffer a la capa de apiarios y se cruzó con la capa de municipios, con el fin de identificar si los límites políticos coinciden con el área recorrida con las abejas.

3. ¿Cuál es el porcentaje disponible del recurso hídrico total de Barrancabermeja en el área de pecoreo de las abejas?

Se realizó una superposición de las capas de buffer de apiarios, ciénaga, río Sogamoso, río Magdalena, drenajes sencillos y drenajes dobles, identificando visualmente los elementos que se traslapan. Posteriormente, se aplicó un clip utilizando como zona de recorte el buffer de 3 km y se empleó la herramienta "Calcular geometría" para determinar el área resultante.

4. ¿Cuál es la cobertura vegetal más predominante en el área recorrida por las abejas? y ¿Cuál es la disponibilidad de cobertura vegetal para las abejas?

Figura 9

Fotografía Cobertura Vegetal



Fuente. Equipo Técnico de la Investigación

Se realizó una superposición de la capa del buffer de 3 Km de apiarios y la capa de “Áreas agrícolas y pastos”, identificando visualmente los elementos que se interceptan. Posteriormente, se aplicó un clip utilizando como zona de recorte el buffer de 3 km y se empleó la herramienta "Calcular geometría" para determinar el área resultante.

5. ¿Cuál es la disponibilidad de recurso forestal para las abejas? y ¿Cuál es la zona forestal más predominante en el área recorrida por las abejas?

Se realizó una superposición de la capa del buffer de 3 Km de apiarios y la capa de “Zona Forestal”, identificando visualmente los elementos que se interceptan. Posteriormente, se aplicó un clip utilizando como zona de recorte el buffer de 3 km y se empleó la herramienta "Calcular geometría" para determinar el área resultante.

Figura 10

Fotografía Plantaciones forestales



Fuente. Equipo Técnico de la Investigación

6. Teniendo en cuenta las determinantes ambientales, ¿Cuál es la zonificación del DRMI San Silvestre más disponible para las abejas? y ¿En cuál zonificación del DRMI San Silvestre predomina el área recorrida por las abejas “Apis Mellifera”?

Se realizó una superposición de la capa del buffer de 3 Km de apiarios y la capa de “DRMI San Silvestre”, identificando visualmente los elementos que se interceptan. Posteriormente, se aplicó un clip utilizando como zona de recorte el buffer de 3 km y se empleó la herramienta "Calcular geometría" para determinar el área resultante por zonificación.

7. ¿En qué categoría del POMCA Sogamoso predomina las abejas “Apis Mellifera”? y ¿cuál es la categoría más disponible?

Se realizó una superposición de la capa del buffer de 3 km de apiarios y la capa de "POMCA_Sogamoso", identificando visualmente los elementos que se interceptan. Posteriormente, se aplicó un clip utilizando el buffer de 3 km como zona de recorte y se empleó la herramienta "Calcular geometría" para determinar el área resultante. Dado que el POMCA de Sogamoso cubre una mayor extensión que los límites de Barrancabermeja, fue necesario realizar un clip adicional utilizando el polígono de Barrancabermeja como zona de recorte para conocer el área ubicada dentro de la zona de estudio.

8. ¿Qué incidencia tienen las redes eléctricas en el área de pecoreo de las abejas?

Se realizó una superposición de la capa del buffer de 3 km de apiarios y la capa con el buffer de 30 m de las “Redes Eléctricas”, entendiéndose que existe una faja de protección de redes donde no se puede desarrollar ninguna actividad. Con la superposición de capas se logró identificar visualmente los elementos que se interceptan. Posteriormente, se aplicó un clip utilizando el buffer de 3 km como zona de recorte y se empleó la herramienta "Calcular geometría" para determinar el área resultante de las redes eléctricas.

9. ¿Qué incidencia tiene el equipamiento del municipio en el área de pecoreo de las abejas?

Se realizó una superposición de la capa del buffer de 3 km de apiarios y las capas de aeropuerto, relleno sanitario y equipamiento, identificando visualmente los elementos que se interceptan. Posteriormente, se aplicó un clip utilizando como zona de recorte el buffer de 3 km y se empleó la herramienta "Calcular geometría" para determinar el área resultante.

10. ¿Qué incidencia tiene el área de pecoreo de las abejas con la red vial del municipio?

Se realizó una superposición de la capa del buffer de 3 km de apiarios y las capas de los buffers de 200m, 50m y 25m de la “Red Vial”, identificando visualmente los elementos que se interceptan. Posteriormente, se aplicó un clip utilizando como zona de recorte el buffer de 3 km de área de recorrido de las abejas y se empleó la herramienta "Calcular geometría" para determinar el área resultante de las redes viales.

Para este análisis se tuvo en cuenta una faja de protección de 200m para vías nacionales y departamentales, 50m para vías municipales y 25m para vías veredales.

En síntesis, para la mayoría de las preguntas, se utilizó la herramienta del ArcToolbox “Clip”, que corresponde a una herramienta de extracción, empleando la capa del buffer de 3 km de apiarios como la capa que contiene los límites o la zona de recorte. Así mismo, se realizaron análisis estadísticos con la herramienta de ArcMap “calcular geometría” para conocer el área total de las capas y el área impactada por las abejas. Finalmente, se generaron mapas que representan de manera visual, clara y comprensible, la influencia de cada apiario, los cuales se pueden consultar en la sección de resultados.

Fase III. Desarrollar un análisis multicriterio para definir áreas y ubicaciones potenciales de apiarios y generar salidas gráficas para informar la toma de decisiones.

Actividad 4. Procesamiento y reclasificación de capas: se escogieron los Shapefiles necesarios para realizar el análisis multicriterio de ubicaciones potenciales de los apiarios (ver tabla 7 Capas utilizadas en multicriterio).

Posteriormente, se creó una base de datos o Geodatabase, denominada Analisis_Multicriterio con el fin de tener la información disponible en un solo archivo.

Tabla 7*Capas utilizadas en multicriterio*

CAPAS	
HIDROGRAFIA	Drenajes Dobles, Drenajes sencillos, Ciénagas
COBERTURA VEGETAL	Áreas agrícolas y pastos, zona forestal
EQUIPAMIENTO RURAL	Aeropuerto, rellenos sanitarios, instituciones educativas, entre otra infraestructura.
RED VIAL	Vías nacionales, municipales y vecinales
DETERMINANTES	DRMI San Silvestre
AMBIENTALES	

Fuente. Equipo Técnico de la Investigación

Una vez seleccionados los shapefiles y creada la base de datos se comenzó con la configuración del proyecto en ArcMap, para esto, en la herramienta de “ambientes” de geoprocésamiento, se establecieron los parámetros que permitieran que los archivos creados se almacenen en la geodatabase “Análisis_Multicriterio”, que la capa límite sea la zona de estudio Barrancabermeja, que el sistema de coordenadas sea el CTM12 y que todos los raster se creen con un tamaño de celda de 50m.

Posteriormente, se generó el ráster de cada capa para poder realizar el análisis multicriterio utilizando la herramienta “Raster Calculator” que se describe en la siguiente actividad.

Basándose en la distancia y aplicando los criterios descritos en la tabla 9 "Criterios por elemento" se crearon los raster de hidrología, equipamiento y red vial. Para esto, se utilizaron las

herramientas del ArcToolbox, específicamente la herramienta “Euclidean Distance” que se encuentra en “Spatial Analyst Tools”, “Distance”. Una vez generados los ráster de distancia, se reclasificaron en tres categorías usando la herramienta "Reclassify", también disponible en ArcToolbox bajo Spatial Analyst Tools y Reclass, donde las categorías van de 0 a 2 y corresponden a inaceptables, aceptables y óptimas.

Tabla 8

Categorías

Categoría	Valor
Inaceptable	0
Aceptable	1
Óptima	2

Fuente. Equipo técnico de la investigación

Por otra parte, para las capas donde la distancia no era un factor crucial, sino que se utiliza otra característica para definir el valor, se creó un atributo llamado “criterio”, donde se asignó un peso a cada uno de los elementos de la capa, el cual varía de 0 a 2, obedeciendo a las categorías mencionadas anteriormente. Luego se utilizó la herramienta de conversión “Polygon To Raster”, disponible en el ArcToolbox, con el fin de poder operar todas las capas raster.

A continuación, se describe con mayor detalle el procedimiento para obtener cada raster:

- **Raster hidrología:** se utilizaron los shapefiles de drenajes dobles, drenajes sencillos y ciénagas. Se comenzó con la herramienta “merge” para unir los polígonos de las capas drenajes dobles y ciénagas, dando como resultado la capa vectorial “Cuerpos_agua”. Posteriormente, se utilizó la herramienta “Distancia Euclidiana” para las capas

“Drenajes_sencillos” y “Cuerpos_agua”, obteniendo 2 raster, uno por capa, “EucDist_Drenajes” para los drenajes sencillos y “EucDist_Cuerpos_Agua” para las ciénagas y drenajes dobles. Una vez se calcularon las distancias euclidianas, se procedió con la reclasificación, teniendo en cuenta que la faja de protección para los drenajes sencillos es de 50 m y la de drenajes dobles y ciénagas es de 100m (ver tabla 9 Criterios por elemento).

Con las capas reclasificadas “Reclass_Drenajes” y “Reclass_Cuerpos” para drenajes sencillos y otros cuerpos de agua respectivamente, se empleó la calculadora raster, buscando obtener un solo raster que compilara las limitantes de la hidrografía, es decir, se multiplicaron los raster, otorgándoles a los dos la misma importancia, aplicando la fórmula “Reclass_Cuerpos * Reclasse_Drenajes”, dando como resultado el raster “Raster_Hidrografía”. Finalmente, se reclasificó el último raster teniendo en cuenta las tres categorías mencionadas anteriormente, otorgándole óptima a aquellos pixeles donde una de las dos capas tiene categoría óptima, es decir, donde el valor es 2 o 4, generando como resultado la capa final para el análisis multicriterio “Raster_Hidrografía_B”

- **Raster vegetación:** se unieron las capas " Areas_agricolas_y_pastos" y “Zona_forestal” utilizando la herramienta “merge”, dando como resultado la capa “vegetacion”. Posteriormente se creó un atributo llamado criterio y se asignaron valores de 0 a 2 a cada cobertura (ver tabla 9 Criterios por elemento). Finalmente, se utilizó la herramienta de conversión “Polygon To Raster” para convertir la capa vectorial en un raster, utilizando el atributo criterio, con valores de 0 a 2.
- **Raster DRMI:** se utilizaron las capas “DRMI_San_Silvestre” y “Barrancabermeja”, con el fin de cubrir toda el área de estudio. Se aplicó una unión para las dos capas, dando como resultado la capa “DRMI_San_Silvestre_B”, a la cual se le creó un atributo llamado criterio, y se le otorgaron valores de 0, es decir, inaceptable, a las zonificaciones “Zona gnl Uso público Subzona para la recreación” y “Preservación”, con el fin de resaltar la importancia de esta determinante ambiental, que establece que en esas zonas no se puede realizar

ninguna actividad antrópica. Por otro lado, se asignó el valor 2 al resto de zonificaciones del DRMI y a las zonas que no están cubiertas en el área de la determinante ambiental.

La capa resultante se convirtió a raster en base al atributo criterio, tomando como valores el 0, inaceptable y el 2, óptimo.

- **Raster vías:** se utilizó la capa de vías y se exportaron los datos de vías municipales, vías departamentales y vías veredales en capas independientes, debido a que las distancias mínimas para la ubicación de un apiario son diferentes para cada jerarquía, dando como resultado las capas “vías_nacionales”, ”vías_municipales” y “vías_veredales”.

Posteriormente, se aplicó la herramienta distancia euclidiana para cada una de las capas y los raster resultantes se reclasificaron con base a las distancias mínimas y máximas (ver tabla 9 Criterios por elemento) para el establecimiento de un apiario. Luego, se utilizó la calculadora raster y se multiplicaron los tres raster reclasificados, otorgándoles a los tres la misma importancia, mediante la fórmula “Reclass_Nacionales * Reclass_Municipales * Reclass_Veredales” y se obtuvo un raster de vías “Reclass_vias”, el cual toma valores de 0 a 8. Finalmente, se reclasificó en las tres categorías, donde el óptimo se consideró cuando dos o más capas tuvieran esta condición, es decir, cuando el píxel tiene valores de 4 u 8.

- **Raster equipamiento:** se utilizó la capa de equipamiento, la cual contiene infraestructura ubicada en la zona rural como aeropuerto, rellenos sanitarios, instituciones educativas, entre otros. De esta capa se exportaron los polígonos del aeropuerto y rellenos sanitarios en capas individuales llamadas “aeropuerto” y “rellenos”, dada la diferencia en las distancias mínimas para ubicar un apiario.

Se resalta que, con el fin de evitar la duplicidad de datos, se eliminaron estos polígonos de la capa de equipamiento original y se creó una nueva denominada “Equipamiento_final”. Posteriormente se calculó la distancia euclidiana para cada una de las capas, obteniendo como resultado tres raster, uno por capa. Estos fueron reclasificados con base a las

distancias, teniendo en cuenta que el apiario no se puede ubicar a menos de 3000m de los rellenos por los vertimientos y olores, a 2000m del aeropuerto por el ruido y a 400m del resto de infraestructura (ver tabla 9 Criterios por elemento). Se procedió con la multiplicación de los tres raster, con la herramienta calculadora raster, aplicando la formula “Reclass_rellenos * Reclass_Aeropuerto * Reclass_Equipamiento”, dando como resultado el raster “Reclass_Equipamiento_AR”, el cual toma valores de 0 a 8. Finalmente se reclasificó la capa resultante, otorgándole categoría óptima a los pixeles con valor de 4 u 8.

Tabla 9.
Criterios por elemento

Factor	Criterio	Categoría 0 (Inaceptable)	Categoría 1 (Aceptable)	Categoría 3 (Óptima)
	Drenaje sencillo:			
	El apiario se debe			
Hidrografía,	ubicar a una	0 – 50 metros y mayor a	50 – 300 metros y de	300 – 1500 metros
hace referencia a	distancia entre los	3000 metros	1500 a 3000	
la proximidad	300 m y 1500 m.			
del apiario a				
fuentes de agua	Drenajes dobles			
(ríos, lagos, y ciénagas,	El			
arroyos,	apiario se debe	0 – 100 metros y mayor a	100 - 300 metros y de	300 - 1500 metros
ciénagas,	ubicar a una	3000 metros	1500 a 3000	
drenajes	distancia entre los			
sencillos)	300 m y 1500 m.			
Determinantes	El apiario no			Subzona para
Ambientales	puede ubicarse en	Zona Uso público		aprovechamiento
DRMI San	la zonificación del	Subzona para la		sostenible
Silvestre	DRMI catalogada	recreación		

Factor	Criterio	Categoría 0 (Inaceptable)	Categoría 1 (Aceptable)	Categoría 3 (Óptima)
	como "Zona uso público, subzona para la recreación"	Zona Preservación		Zona de Restauración
	Nacionales: El apiario debe ubicarse a una distancia no menor a 200m de vías nacionales.	0 – 200 metros	> 10000 metros	200 - 10000 metros
Red Vial, hace referencia a la proximidad a carreteras y caminos	Municipales: El apiario debe ubicarse a una distancia no menor a 50m de vías municipales	0 - 50 metros	> 10000 metros	50 – 10000 metros
	Veredales: El apiario debe ubicarse a una distancia no menor a 25m de vías veredales	0 – 25 metros	>10000 metros	25 – 10000 metros
	Zona agrícola y pastos: con el fin de aportar a la actividad	Otros cultivos transitorios Maíz Yuca	Palma de aceite	Mango Pastos enmalezados Mosaico de cultivos

Factor	Criterio	Categoría 0 (Inaceptable)	Categoría 1 (Aceptable)	Categoría 3 (Óptima)
Cobertura Vegetal, referencia al tipo de vegetación	agropecuaria, es importante que el apiario se situé en zonas con coberturas vegetales que necesiten de polinización como mango, palma de aceite, mosaico de cultivos y pastizales.	Plátano y banano		Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales Pastos arbolados Pastos limpios
	Zona forestal: El apiario debe situarse en se encuentre alimento para las abejas, es decir, zonas biodiversas en flora	Playas Tierras desnudas y degradadas Zonas quemadas	Bosque de galería y ripario	Bosque abierto alto Bosque abierto bajo Bosque denso alto Bosque denso bajo Bosque fragmentado con pastos y cultivos Bosque fragmentado con vegetación secundaria Plantación forestal Herbazal denso Vegetación secundaria alta

Factor	Criterio	Categoría 0 (Inaceptable)	Categoría 1 (Aceptable)	Categoría 3 (Óptima)
Equipamiento rural	<p>Vegetación secundaria baja</p> <p>Equipamiento: el apiario debe ubicarse a una distancia no menor a 400 m del equipamiento rural tradicional, escuelas, viviendas, entre otros.</p>	0-400 metros	400 - 450 m	Mayor a 450 metros
	<p>Aeropuerto: El apiario debe ubicarse a una distancia no menor a 2000 m del aeropuerto, dadas las condiciones de ruido</p>	0-2000 metros	2000 – 2100 metros	Mayor a 2100 metros
	<p>Rellenos sanitarios: El apiario debe ubicarse a una</p>	0-3000 metros	3000 – 3100 metros	Mayor a 3100 metros

Factor	Criterio	Categoría 0 (Inaceptable)	Categoría 1 (Aceptable)	Categoría 3 (Óptima)
	distancia no menor a 3000, dadas las condiciones de olores, vertimientos, entre otros.			

Fuente. Equipo técnico de la investigación

Se resalta que, para establecer los criterios descritos en la Tabla 9. Criterios por elemento, en la mayoría de los casos, se acudió a la normatividad vigente. A continuación, se relaciona los argumentos técnicos y legales.

5.8.1 Cuerpos Hídricos.

No se encontró normatividad aplicable para determinar las distancias optimas a las cuales se deben instalar los apiarios de un cuerpo hídrico. No obstante, el documento técnico GUÍA AMBIENTAL APÍCOLA elaborado por el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt, recomienda que es necesario ubicar las fuentes de agua cercanas al apiario, pero no dentro de él, si se instala cerca al cuerpo hídrico puede ocasionar inundaciones y pérdidas económicas o de las instalaciones en épocas de invierno. Además, es importante respetar las fajas de protección de los cuerpos hídricos.

5.8.2 Áreas agrícolas y pastos

En esta capa no se encuentra normativa relacionada. Sin embargo, se consideran óptimas aquellas coberturas importantes para las abejas, ya sea porque constituyen su alimento vital para su preservación o porque el cultivo depende de la polinización para su reproducción.

5.8.3 Zona forestal

En esta capa no se encuentra normatividad relacionada. Sin embargo, se consideran como coberturas aceptables y óptimas áreas que incluyen diversos tipos de vegetación que ofrecen néctar y polen, indispensables para la salud y la supervivencia de las poblaciones de abejas.

Por otro lado, se descartan las zonas de playa, tierras desnudas y áreas quemadas, ya que no son fértiles ni proporcionan los recursos necesarios para sustentar a las abejas ni a los cultivos que requieren polinización. La presencia de vegetación adecuada no solo beneficia a las abejas, sino que también asegura la continuidad y calidad de los cultivos, promoviendo un equilibrio ecológico y una producción agrícola sostenible.

5.8.4 Equipamiento rural

Para esta capa se definieron los criterios con base en la RESOLUCIÓN 8390 DE 2023, “*por la cual se establecen los requisitos y el procedimiento para obtener la certificación en Buenas Prácticas Apícolas (BPAP) en los predios dedicados a la producción de la especie Apis Mellifera*”. La normatividad indica que el apiario debe ubicarse a una distancia no menor a 400 m del equipamiento rural.

5.8.5. Aeropuerto

No hay normatividad específica que indique la distancia mínima que se debe tener para instalar un apiario con relación al aeropuerto. Sin embargo, se considera importante tener en cuenta los decibeles dB emitidos. En ese orden de ideas, se decide que el apiario debería ubicarse a una distancia no menor a 2000 m del aeropuerto, dadas las condiciones de ruido.

5.8.6 Relleno sanitario

La Resolución 8390 de 2023, “*por la cual se establecen los requisitos y el procedimiento para obtener la certificación en Buenas Prácticas Apícolas (BPAP) en los predios dedicados a la producción de la especie Apis Mellifera*” indica que el apiario debe ubicarse a una distancia no menor a 3000m, dadas las condiciones de olores, vertimientos, entre otros.

5.8.7 Red vial

La Resolución 8390 de 2023, “*por la cual se establecen los requisitos y el procedimiento para obtener la certificación en Buenas Prácticas Apícolas (BPAP) en los predios dedicados a la producción de la especie Apis Mellifera*” indica que el apiario debe ubicarse a una distancia no menor a 200m de vías nacionales, 50m de carreteras municipales y 25m de caminos vecinales.

5.8.8 DRMI San Silvestre

Los criterios en esta capa se definen con base en el Acuerdo 045 de 2022 DRMI “*Distrito Regional de Manejo integrado humedal San Silvestre*”. En el artículo cuarto “*Zonificación y*

régimen de usos”, se menciona que el apiario no puede ubicarse en la zonificación del DRMI catalogada como "Zona uso público, subzona para la recreación” y zona de preservación.

Actividad 5. Análisis multicriterio o de factibilidad: para desarrollar el análisis multicriterio, se utilizó la herramienta Calculadora Raster, que se emplea para realizar operaciones algebraicas y lógicas en los datos raster. Para el análisis, se consideraron cinco factores: cobertura vegetal, hidrografía, determinantes ambientales, red vial y equipamiento rural, cada uno de ellos se evaluó en la actividad 4 y se categorizó en tres niveles: inaceptables, aceptables y óptimos.

Posterior a obtener las capas raster de cada factor a evaluar, se aplica la formula $((3 * "cobertura_vegetal") * (2 * "hidrografía") * (2 * "determinantes_ambientales") * (2 * "red_vial") * ("equipamiento"))$, teniendo en cuenta los porcentajes de importancia que se especifican en la tabla 10 se utilizó la operación algebraica de multiplicación para que los pixeles que tienen valor 0 o inaceptable en cualquiera de los factores sean descartados de las zonas aceptables o potenciales para ubicar un apiario.

Tabla 10
Porcentajes de importancia

PORCENTAJE DE IMPORTANCIA	
Cobertura Vegetal	30%
Hidrografía	20%
Determinantes Ambientales	20%
Red Vial	20%
Equipamiento Rural	10%

Fuente: Equipo técnico de la investigación

Como resultado, se obtuvo una nueva capa ráster que incluye todos los factores y muestra los diferentes niveles de idoneidad para la ubicación de nuevos apiarios. Este raster puede tomar 7 valores diferentes (ver tabla.11 Valores Posibles del Ráster Resultante Según la Importancia de Factores). Por lo cual fue necesario reclasificarlo, considerando las categorías mencionadas: inaceptables, aceptables y óptimas, donde el valor 0 corresponde a zonas inaceptables y el valor 2 se otorga cuando los pixeles tienen 4 o 5 factores en estado óptimo, es decir, cuando tienen valores de 384 o 768.

Tabla 11

Valores Posibles del Ráster Resultante Según la Importancia de Factores

Combinación	Valor
Resultante	
Cualquier combinación con un cero	0
3 * 2 * 2 * 2 * 1	24
3 * 2 * 2 * 2 * 2	48
3 * 2 * 2 * 4 * 1	48
3 * 2 * 2 * 4 * 2	96
3 * 2 * 4 * 2 * 1	48
3 * 2 * 4 * 2 * 2	96
3 * 4 * 2 * 2 * 1	48
3 * 4 * 2 * 2 * 2	96
3 * 4 * 4 * 2 * 1	96

Combinación	Valor Resultante
3 * 4 * 4 * 2 * 2	192
3 * 4 * 2 * 4 * 1	96
3 * 4 * 2 * 4 * 2	192
3 * 4 * 4 * 4 * 1	192
3 * 4 * 4 * 4 * 2	384
6 * 2 * 2 * 2 * 1	48
6 * 2 * 2 * 2 * 2	96
6 * 2 * 2 * 4 * 1	96
6 * 2 * 2 * 4 * 2	192
6 * 2 * 4 * 2 * 1	96
6 * 2 * 4 * 2 * 2	192
6 * 4 * 2 * 2 * 1	96
6 * 4 * 2 * 2 * 2	192
6 * 4 * 4 * 2 * 1	192
6 * 4 * 4 * 2 * 2	384
6 * 4 * 2 * 4 * 1	192
6 * 4 * 2 * 4 * 2	384
6 * 4 * 4 * 4 * 1	384
6 * 4 * 4 * 4 * 2	768

Fuente. Equipo técnico de la investigación

Finalmente, para apreciar únicamente las zonas óptimas para la ubicación de apiario, se utilizó la herramienta Spatial analyst Tools > Conditional > Con.

Actividad 06. Generación de mapas: en esta última actividad se emitieron informes cartográficos que resumen los hallazgos del análisis espacial del proyecto para facilitar la toma de decisiones, proporcionando visualizaciones claras y precisas para entender patrones geoespaciales y apoyen la planificación estratégica y la gestión eficiente de recursos en la alcaldía de Barrancabermeja.

El mapa resultante muestra las zonas inaceptables, aceptables y óptimas sobre las cuales se puede ubicar un apiario, teniendo en cuenta los factores de hidrología, determinantes ambientales, equipamiento, vías y vegetación.

6. Resultados

6.1 Fase I. Crear un sistema geográfico de información (geodatabase) para los apiarios.

A continuación, se relaciona el desarrollo de las actividades con sus respectivos resultados de la investigación.

6.1.1 Actividad 1. Recopilación de datos.

En esta actividad se realizaron visitas de campo a cada uno de los apiarios registrados en la base de datos de la secretaría de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural del Distrito de Barrancabermeja. Las visitas consistieron en la verificación de los apiarios y la toma de los datos más relevantes de cada uno como: nombre del apicultor, cédula del apicultor, ubicación del apiario, nombre de predio, tenencia, vereda, corregimiento, nombre de apiario y número de colmenas.

Tabla 12.

Recopilación de Datos

PTO	NOMBRE APICULTOR	LAT	LONG	NOMBRE PREDIO	TENENCIA	VEREDA	CORREGIMIENTO	NOMBRE APIARIO	NUMERO DE COLMENAS
1	Carlos Eduardo Mujica Infante	6,98694	-73,74417	Villa Carmen	PROPIO	Las Marias	El Centro	Mujica	9
2	Paola Andrea Olaya	7,09778	-73,84806	Platanal	ARRENDADO	Chava	El Llanito	Platanal	3
3	Marlon Andres Sanchez	7,09694	-73,84722	Villa Feliza	ARRENDADO	Chava	El Llanito	Mellona	8
4	Luz Helena Ferrer suarez	6,98222	-73,73611	Los Aljibes	PROPIO	Las Marias	El Centro	Maya	5
5	Luz Helena Ferrer suarez	6,98556	-73,73278	Los Aljibes	PROPIO	Las Marias	El Centro	Aljibes	10
6	Luz Helena Ferrer suarez	6,98528	-73,73222	Los Aljibes	PROPIO	Las Marias	El Centro	Essa	10
7	Luz Helena Ferrer suarez	6,98500	-73,73444	Los Aljibes	PROPIO	Las Marias	El Centro	35	10
8	Chirley Triana	7,05722	-73,79722	Diamante	ARRENDADO	Las Marias	El Centro	El Diamante 1	20
9	Chirley Triana	7,06083	-73,79472	Diamante	ARRENDADO	Las Marias	El Centro	El Diamante 2	16
10	Chirley Triana	7,05750	-73,79694	Diamante	ARRENDADO	Las Marias	El Centro	El Diamante 3	20
11	Carlos Holguin	7,09556	-73,84833	Platanal	ARRENDADO	Chava	El Llanito	Eco Gecama	17
12	Hermes Andres Bautista	7,03167	-73,64194	Miraflores	ARRENDADO	El Poblado	La Fortuna	Miraflores	16
13	Angie Paola Ravelo	7,07028	-73,81389	La Azufrera	ARRENDADO	Las Marias	El Centro	Angie	36
14	Oscar Fabian Camacho	7,00194	-73,75167	La Maria	ARRENDADO	Las Marias	El Centro	Don Pablito	17
15	Oscar Fabian Camacho	7,00750	-73,70000	Omarcito	ARRENDADO	Peroles	La Fortuna	Peroles 002	29
16	Marcela Aguirre Arias	7,05611	-73,67306	San Jose La Cabaña	ARRENDADO	Zarzal Bajo	La Fortuna	San Jose	25
17	Marcela Aguirre Arias	7,05000	-73,65472	Las Margaritas	ARRENDADO	Zarzal	La Fortuna	Las Lombrices	16
18	Nohemi Chacon	7,22111	-73,68167	Betania	PROPIO	Guarumo	Meseta de San Rafael	Betania	1
19	Jairo Jimenez	7,22611	-73,67833	La Unión	PROPIO	Guarumo	Meseta de San Rafael	La Unión	4
20	German Aristizabal Gomez	7,21750	-73,69389	La Parcela	PROPIO	Guarumo	Meseta de San Rafael	La Parcela	6
21	Rafael Calderon	7,19611	-73,70306	La Raiz	PROPIO	Arenosa	Meseta de San Rafael	La Raiz	5
22	Rafael Calderon	7,20083	-73,70611	La Raiz	PROPIO	Arenosa	Meseta de San Rafael	La Raiz	1
23	Rafael Calderon	7,20278	-73,70778	La Raiz	PROPIO	Arenosa	Meseta de San Rafael	La Raiz	3
24	Rafael Calderon	7,19417	-73,70722	La Raiz	PROPIO	Arenosa	Meseta de San Rafael	La Raiz	4
25	Victor Hugo Vasquez	7,12611	-73,78222	La Cauchera	PROPIO	Penjamo	El Llanito	La Cauchera	16
26	Rocio del Carmen Gomez	7,12389	-73,78306	La Cauchera	PROPIO	Penjamo	El Llanito	La Cauchera	7
27	Sandra Milena León	7,16083	-73,78778	Bucarelia	PROPIO	Tabla Roja	El Llanito	Bucarelia	21
28	Jaime Mesa	6,90917	-73,68417	La Flor	PROPIO	La Lejia	El Centro	La Flor	8
29	Luz Estella Arango	7,07778	-73,67083	Mira Valle	PROPIO	Zarzal	La Fortuna	Mira Valle	6

Fuente: Equipo técnico investigador.

Figura 11

Fotografías Visitas de Campo



Fuente. Equipo técnico investigador

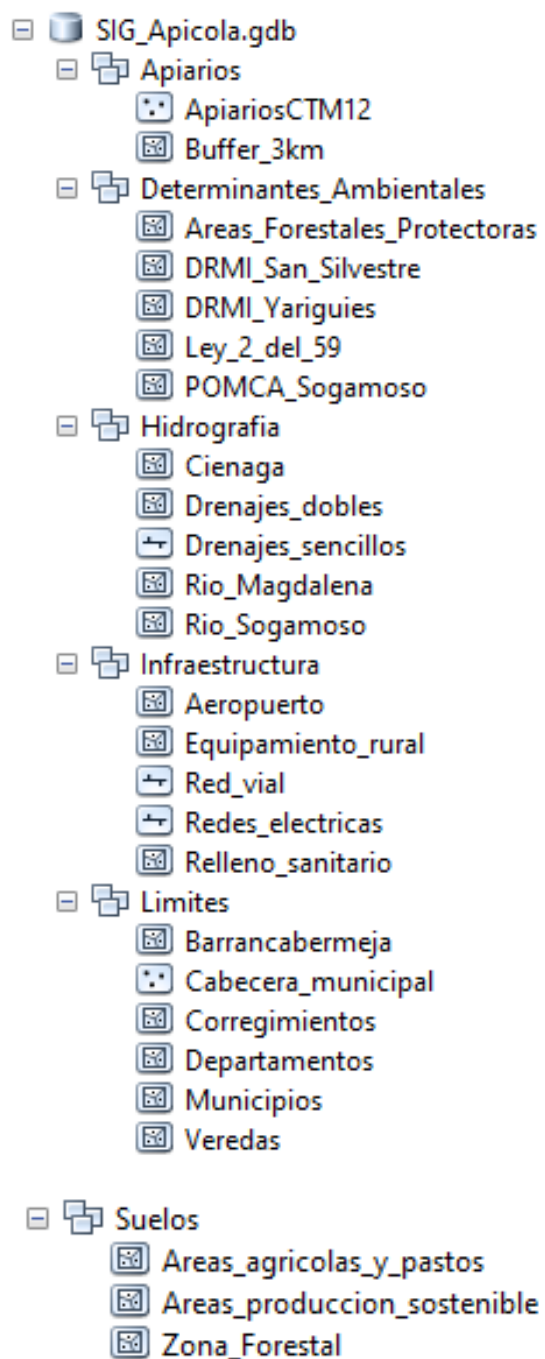
Al final del trabajo de campo se generó como producto una tabla de Excel con los datos mencionados, que se suministrará a la alcaldía y podrá ser herramienta para futuras actualizaciones.

6.1.2 Actividad 2. Creación de geodatabase.

Se creó una File Geodatabase denominada “SIG_Apicola” con un sistema de coordenadas CTM12, con seis (6) Feature Dataset correspondientes a apiarios, determinantes ambientales, hidrografía, infraestructura, límites y suelos, cada uno de ellos contiene una serie de Feature Class o Shapefile, como se evidencia en la figura 12.

Figura 12.

Geodatabase SIG APICOLA



Fuente. Equipo técnico investigador

6.2 Fase II. Determinar las distancias medias entre apiarios, su distribución espacial e identificar patrones y tendencias espaciales relevantes para su manejo y generar salidas gráficas para informar la toma de decisiones.

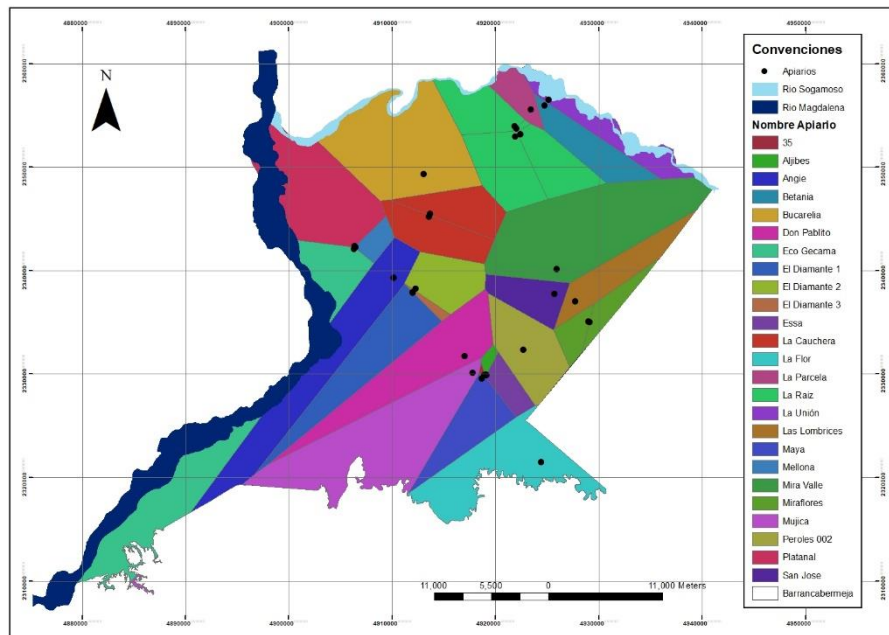
6.2.1 Actividad 3. Análisis Espacial y Generación de Mapas

Se realizó el análisis espacial utilizando una serie de herramientas de ArcGIS que permitieron conocer la distribución de los apiarios, dichas herramientas se pueden consultar en la tabla 6.

1. Polígonos De Thiessen

Cada polígono se asocia a la ubicación del apiario y delimita su área de influencia. Por tanto, este análisis permite evaluar si hay áreas del Distrito que quedan desatendidas, también facilita la identificación de posibles ubicaciones adicionales que podrían cubrir áreas sin representación actual.

El uso de Polígonos de Thiessen en este análisis demuestra una aplicación práctica de SIG para la toma de decisiones basada en la proximidad y la distribución espacial.

Figura 13*Mapa N° 1: Polígonos de Thiessen*

Fuente. Procesamiento del software ArcGIS

En la tabla 13 se muestra el área en km² de los polígonos de Thiessen creados, donde se evidencia que las áreas de los polígonos varían significativamente, desde muy grandes, como el del apiario Mira Valle con 132.34 km², ubicado el corregimiento La Fortuna hasta muy pequeños, como el del apiario “35” con 0.47 km², ubicado en el corregimiento el centro. Esto indica que, los apiarios con polígonos más grandes están ubicados en zonas donde hay menos competencia o densidad de otros apiarios cercanos, mostrando una menor densidad de puntos, en contraste, los apiarios con polígonos más pequeños están en zonas con mayor densidad de otros apiarios cercanos, sugiriendo una mayor competencia o concentración de apiarios.

Tabla 13*Área de polígonos de Thiessen*

FID	NOMBRE APIARIO	AREA (Km2)
30	Mira Valle	132.34
11	Eco Gecama	127.32
1	Mujica	116.63
28	Bucarelia	111.81
2	Platanal	101.38
14	Angie	93.25
15	Don Pablito	73.88
229	La Flor	73.53
8	El Diamante 1	60.99
16	Peroles 002	44.38
25	La Raíz	38.81
4	Maya	35.81
18	Las Lombrices	34.15
20	La Unión	34.08
27	La Cauchera	33.49
19	Betania	31.92
9	El Diamante 2	30.53
22	La Raiz	29.29
26	La Cauchera	29.09
24	La Raiz	27.72
17	San José	24.82
21	La Parcela	15.43
12	Miraflores	12.94
6	Essa	12.79

FID	NOMBRE APIARIO	AREA (Km2)
13	Miraflores	10.95
3	Mellona	8.31
10	El Diamante 3	2.77
5	Aljibes	2.34
23	La Raiz	0.84
7	35	0.47

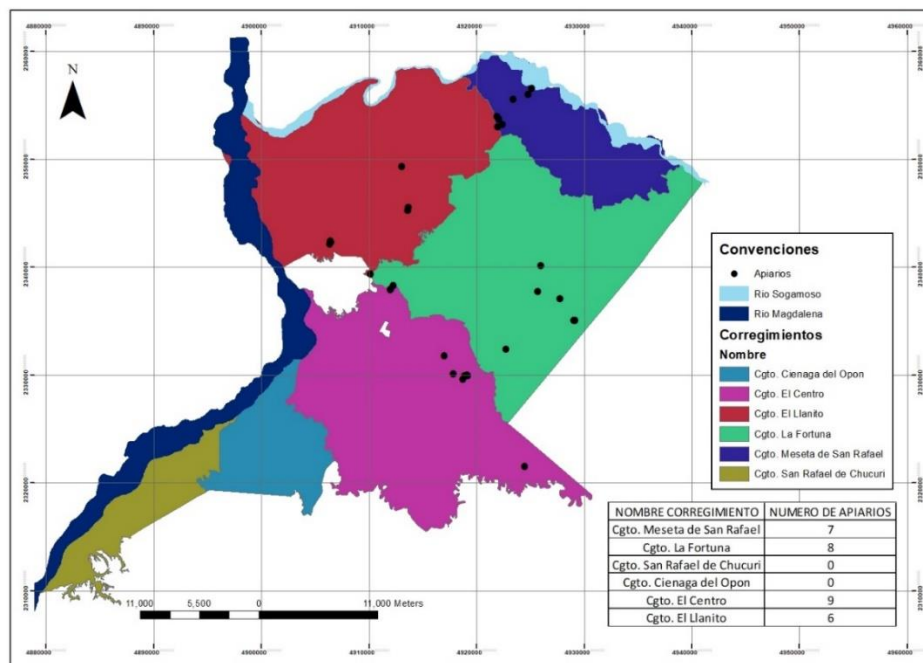
Fuente. Procesamiento del software ArcGIS

Por otra parte, con el fin de conocer la distribución espacial de los apiarios e identificar patrones y tendencias espaciales relevantes se respondieron a las preguntas mencionadas en la metodología y se generaron los siguientes resultados:

1. ¿Cuál es el corregimiento que tiene más apiarios?

Figura 14

Mapa N° 2: Ubicación de Apiario por corregimiento



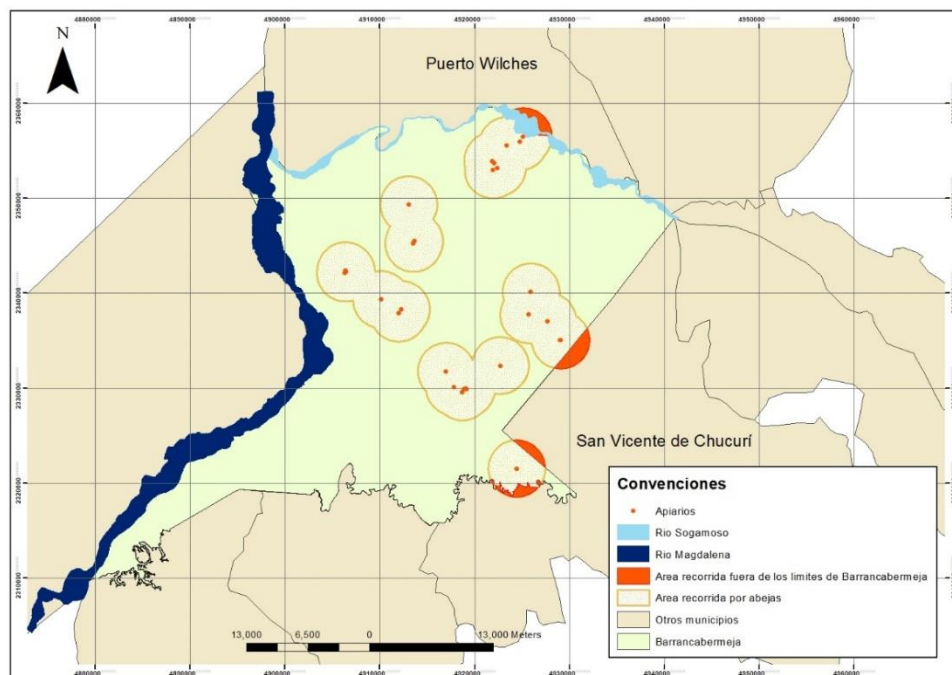
Fuente. Procesamiento Software ArcGIS

El mapa 2 permitió determinar e identificar las áreas con mayor y menor actividad apícola en los corregimientos del Distrito de Barrancabermeja. Los resultados indican que "El Centro" presenta el mayor número de apiarios, con un total de nueve (9), seguido por "Fortuna" con ocho (8) apiarios, y "Meseta de San Rafael" con siete (7) apiarios. En contraste, los corregimientos "San Rafael de Chucurí" y "Ciénaga del Opón" no cuentan con apiarios, lo que sugiere que estas áreas podrían beneficiarse de la implementación de capacitaciones y programas de desarrollo en torno a la actividad apícola. Estas capacitaciones podrían fomentar el establecimiento de nuevos apiarios y, a su vez, contribuir al crecimiento económico y ambiental de dichas regiones.

2. ¿Los límites ecológicos de las abejas coinciden con los límites políticos de Barrancabermeja? ¿Cuáles otros municipios se ven influenciados por la actividad apícola de Barrancabermeja?

Figura 15

Mapa N° 3: Límites ecológicos



Fuente. Procesamiento Software ArcGIS

En el mapa se evidencia que hay dos (2) municipios, además de Barrancabermeja, que son impactados positivamente por las abejas “Apis Mellifera”, estos corresponden a Puerto Wilches y San Vicente de Chucuri, ambos pertenecientes al departamento de Santander.

Con la herramienta “calcular geometría” se logró obtener el área total recorrida por las abejas, la cual corresponde a 350,43 km², así mismo, se calcularon las áreas impactadas por municipio y se encontró que del total del área recorrida por las abejas el 94,89% se realiza en Barrancabermeja, el 1,49% en Puerto Wilches y 3,62% restante en San Vicente de Chucuri.

Ahora bien, del total del área recorrida por las abejas, 332,52 km² corresponden a lo recorrido dentro de los límites políticos de Barrancabermeja, es decir, el 24,59% de cobertura en el distrito de Barrancabermeja es beneficiado por las abejas Apis Mellifera. Por otra parte, 5.21 km² son recorridos por las abejas en el municipio de Puerto Wilches, esta área equivale al 0,34 % del área total del municipio 1514.79 km². Finalmente 12.70 km² son visitadas en el municipio San Vicente de Chucuri, es decir, 1,13 % del área total del municipio (Tabla 14).

Tabla 14*Área recorrida por las abejas por municipio*

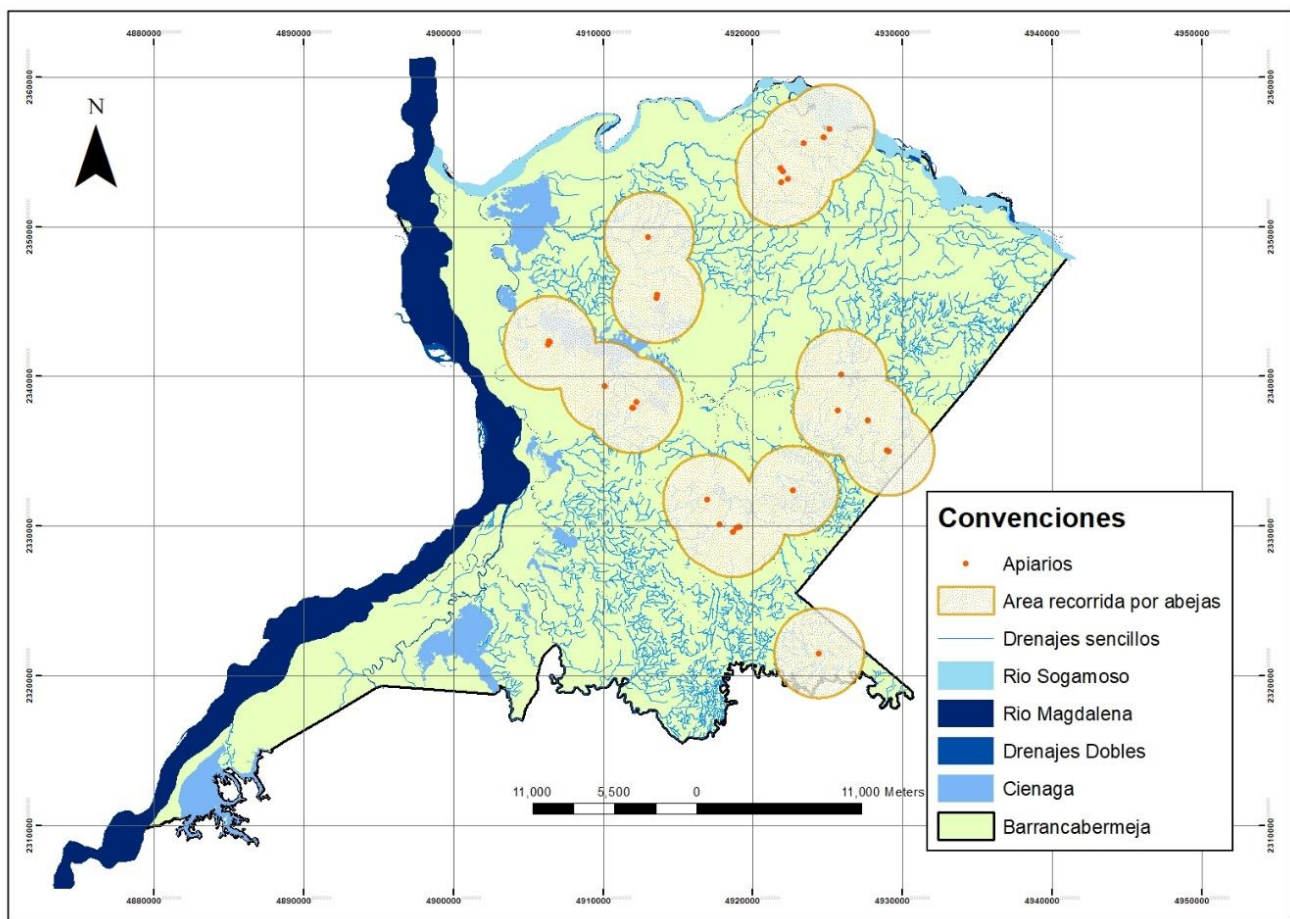
LIMITES ECOLÓGICOS			
MUNICIPIOS	EXTENSION TOTAL	RECORRIDO ABEJAS	COBERTURA
Barrancabermeja	1352,06 km ²	332,52 km ²	24.59 %
Puerto Wilches	1514,79 km ²	5.21 km ²	0,34 %
San Vicente de chucuri	1076,80 km ²	12.70 km ²	1,18 %
AREA TOTAL QUE RECORRE LAS ABEJAS		350.43 km ²	

Fuente. Datos encontrados del procesamiento en ArcGIS.

3. ¿Cuál es el porcentaje disponible del recurso hídrico total de Barrancabermeja en el área de pecoreo de las abejas?

Figura 16

Mapa N° 4: Cuerpos hídricos



Fuente. Procesamiento de capas en software AcGIS

La figura 16 ilustra las áreas recorridas por las abejas en relación con la disponibilidad de cuerpos hídricos, se observa que dentro de su recorrido tienen disponibles principalmente cuerpos de agua tipo drenajes sencillos, seguido por ciénagas.

Tabla 15

Porcentaje de disponibilidad de cuerpos hídricos de Barrancabermeja en la zona de pecoreo.

CUERPOS HIDRICOS BARRANCABERMEJA			
NOMBRE	AREA – LONGITUD TOTAL	AREA DISPONIBLE	COBERTURA (%)
Ciénagas	69,57 km ²	16,91 km ²	24,31
Drenajes Dobles	90,06 km ²	3,57 km ²	3,96
Drenajes sencillos	1867,91 km	521,07 km	27,90

Fuente. Datos encontrados del procesamiento en ArcGIS.

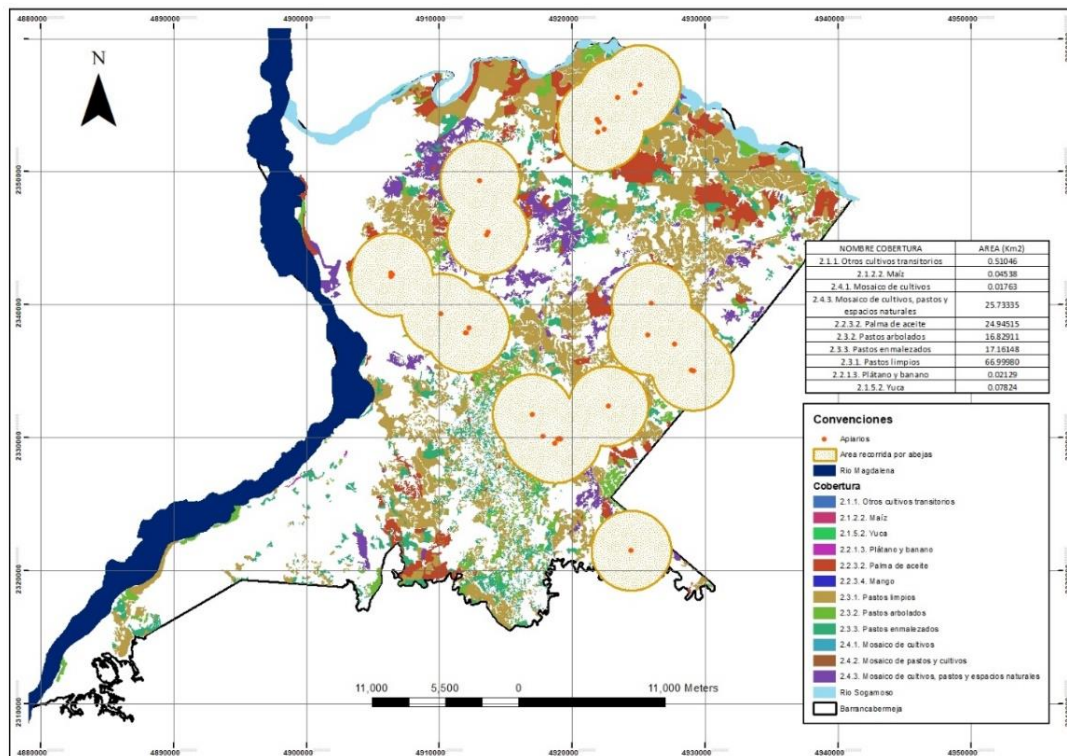
En este análisis se logró identificar que en el área de tránsito de las abejas pecoreadoras se cuenta con suficiente recurso hídrico, tanto de drenajes sencillos, dobles, ciénagas y ríos. El recurso hídrico con mayor disponibilidad son los drenajes sencillos con un porcentaje del 27,90, el segundo la Ciénagas con un 24,31%.

4. ¿Cuál es la cobertura vegetal más predominante en el área recorrida por las abejas? y ¿Cuál es la disponibilidad de cobertura vegetal para las abejas?

En la figura 17, se muestra el mapa identificado para el área total de cobertura vegetal y relaciona es la cobertura vegetal más recorrida por las abejas.

Figura 17.

Mapa N° 5: Cobertura vegetal



Fuente. Procesamiento de capas en software ArcGIS

El área total recorrida por las abejas en las coberturas vegetales es de 152.34 km², en la tabla 16 se puede evidenciar que el 43.98% del área total recorrida por las abejas en las zonas agropecuarias corresponde a zonas cubiertas de pastos limpios, seguido de un 16.89% en zona de mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales. Estos entornos naturales suelen ser ricos en diversidad de plantas con flores que proporcionan néctar y polen durante largos períodos del año.

Tabla 16.*Porcentaje de cobertura vegetal impactada por el área recorrida por las abejas*

NOMBRE COBERTURA	AREA IMPACTADA (Km2)	PORCENTAJE (%)
Otros cultivos transitorios	0.51	0.34
Maíz	0.05	0.03
Mosaico de cultivos	0.02	0.01
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	25.73	16.89
Palma de aceite	24.95	16.37
Pastos arbolados	16.83	11.05
Pastos enmalezados	17.16	11.27
Pastos limpios	67.00	43.98
Plátano y banano	0.02	0.01
Yuca	0.08	0.05

Fuente. Datos arrojados en el procesamiento en ArcGIS.

En contraste, las coberturas vegetales que tienen menor área recorrida corresponden al mosaico de cultivo y al plátano y banano. Esto sugiere una oportunidad para optimizar el uso de las áreas mediante la implementación de cultivos que puedan beneficiarse significativamente de la polinización de las abejas, como cultivos de mango, otros frutales, palma, entre otros, mejorando así la productividad agrícola y la biodiversidad del entorno.

Se debe tener en cuenta que los cultivos que más dependen de las abejas son aquellos que producen frutos y semillas, ya que requieren polinización para el desarrollo adecuado de sus productos.

Tabla 17*Porcentaje de área de cobertura vegetal disponible en el área recorrida por las abejas*

COBERTURAS VEGETALES BARRANCABERMEJA			
NOMBRE	AREA DISPONIBLE	AREA TOTAL	COBERTURA
	(km²)	(km²)	(%)
Otros cultivos transitorios	0,51	1,19	42,9
Maíz	0,05	0,15	33,3
Mosaico de cultivos	0,02	0,14	14,3
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	25,73	86,44	29,8
Palma de aceite	24,95	82,54	30,2
Pastos arbolados	16,83	52,92	31,8
Pastos enmalezados	17,16	79,59	21,6
Pastos limpios	67	260,77	25,7
Plátano y banano	0,02	0,36	5,6
Yuca	0,08	0,19	42,1

Nota. Fuente. Procesamiento en software ArcGIS

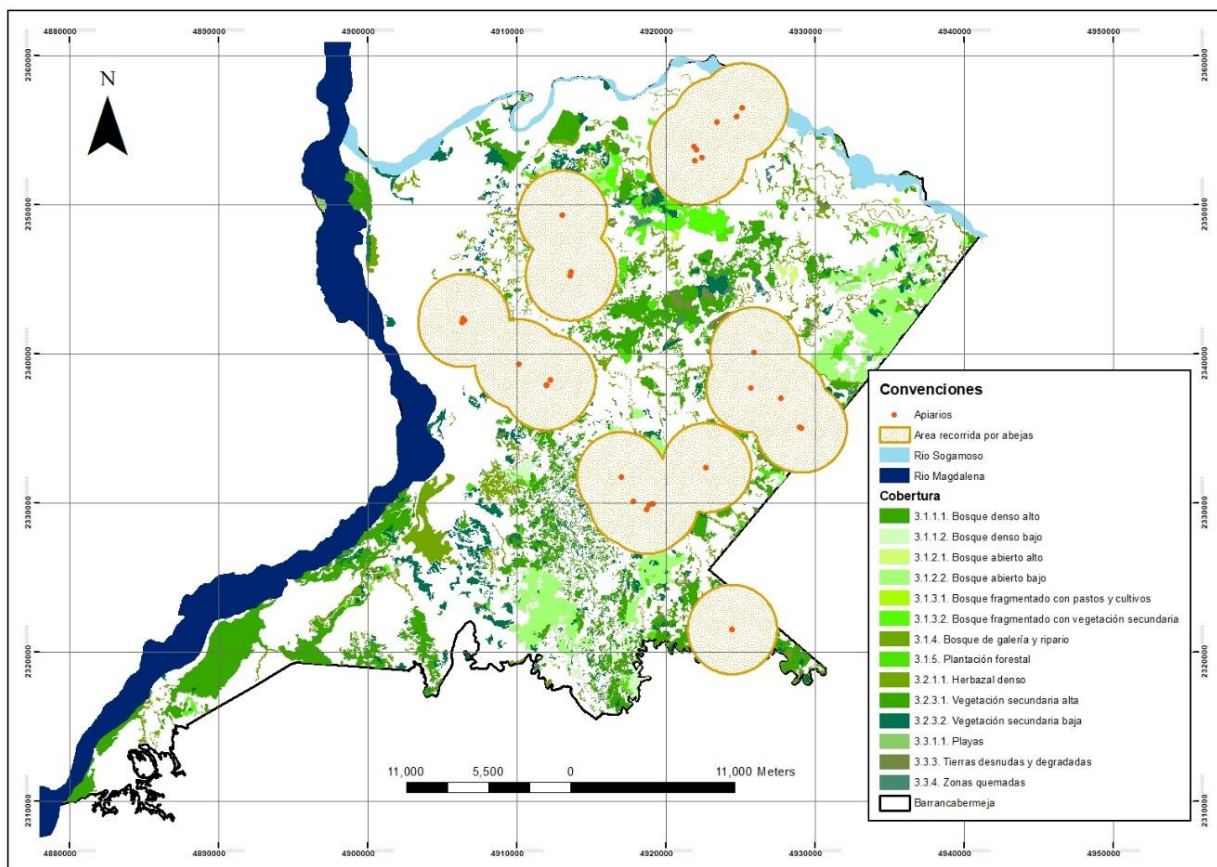
Por otra parte, con base a los datos recopilados, se puede deducir que en el área de tránsito de las abejas pecoreadoras, la cobertura vegetal más disponible corresponde a los cultivos transitorios con un área de 0,51 km² que equivale el 42,9 % del área total del cultivo, el segundo es la yuca con un área 0,08 km² que equivale el 42,1 %, el tercero corresponde a pastos arbolados, con un porcentaje de área disponible del 31.8%, la cuarta cobertura equivale a la palma de aceite con un área de 24,95 km² que equivale el 30,2 % del total de cultivo, cabe mencionar que el cultivo

de palma es poinzado por la abeja “Apis Mellifera”, beneficiando directamente la producción del fruto. Finalmente, la cobertura menos disponible en el área de pecoreo corresponde al cultivo de plátano y banano, con un porcentaje de 5.6%.

5. ¿Cuál es la disponibilidad de recurso forestal para las abejas? y ¿Cuál es la zona forestal más predominante en el área recorrida por las abejas?

Figura 18

Mapa N° 6: Tipos de Cobertura



Nota. Fuente. Procesamiento de capas en software ArcGIS

Tabla 18.

Porcentaje de área de zona forestal impactada por el área recorrida por las abejas.

ZONAS FORESTALES	AREA TOTAL	AREA DISPONIBLE	PORCENTAJE
	Km2	Km2	(%)
Bosque abierto alto	7.12	5.94	83.49
Bosque abierto bajo	71.39	21.94	30.74
Bosque denso alto	46.10	0.70	1.52
Bosque denso bajo	6.14	1.18	19.29
Bosque fragmentado con pastos y cultivos	0.38	0.00	0.00
Bosque fragmentado con vegetación secundaria	19.32	5.10	26.39
Bosque de galería y ripario	61.21	15.90	25.98
Herbazal denso	1.25	0.06	5.03
Plantación forestal	18.05	8.54	47.30
Playas	10.17	0.73	7.18
Tierras desnudas y degradadas	13.65	4.11	30.10
Zonas quemadas	4.71	1.06	22.58
Vegetación secundaria alta	135.47	41.69	30.78
Vegetación secundaria baja	54.40	11.76	21.61

Nota. Fuente. Procesamiento en software ArcGIS

Con relación a la cobertura forestal, se puede concluir que en el área de tránsito de las abejas pecoreadoras, la cobertura con mayor disponibilidad son los bosque abiertos altos, con un área de 5,94 km² que equivale al 83,49% del área total de la cobertura y, el segundo es la plantación forestal con un área de 8,54 km² que equivale el 47,30% del total de la plantación, en el área analizada

también se encuentra otras coberturas importantes como bosque abierto bajo con el (30,74%), bosque de galería y ripario (25,98%) y bosque fragmentado con vegetación secundaria (26,39%).

Tabla 19

Porcentaje de zonas forestales disponibles en el área recorrida por las abejas

ZONAS FORESTALES	AREA IMPACTADA Km2	PORCENTAJE
Bosque abierto alto	5.94	5.00
Bosque abierto bajo	21.94	18.48
Bosque denso alto	0.70	0.59
Bosque denso bajo	1.18	1.00
Bosque fragmentado con pastos y cultivos	0.00	0.00
Bosque fragmentado con vegetación secundaria	5.10	4.30
Bosque de galería y ripario	15.90	13.40
Herbazal denso	0.06	0.05
Plantación forestal	8.54	7.19
Playas	0.73	0.61
Tierras desnudas y degradadas	4.11	3.46
Zonas quemadas	1.06	0.90
Vegetación secundaria alta	41.69	35.12
Vegetación secundaria baja	11.76	9.90

Nota. Fuente. Procesamiento en software ArcGIS

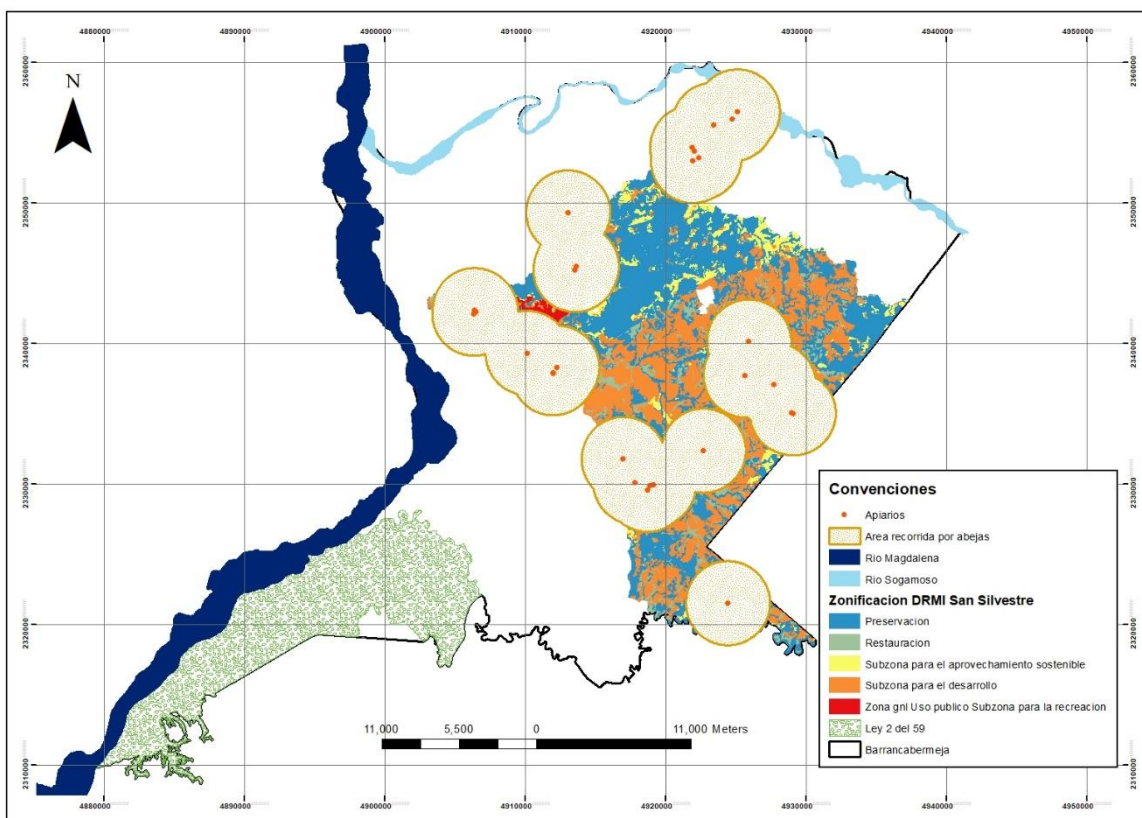
Por otra parte, el área impactada por las abejas en las zonas forestales es de un total de 118.72 km², en la tabla 19 se puede evidenciar que la cobertura que tiene mayor influencia en el

área recorrida por las abejas es la vegetación secundaria alta con un 35.12%, seguido del bosque abierto bajo con un 18.48%. En contraste, la zona forestal que tiene menor cobertura es el bosque fragmentado con pastos y cultivos con un 0%, esto se debe a que no hay disponibilidad de esta cobertura en el área recorrida por las abejas.

6. Teniendo en cuenta las determinantes ambientales, ¿Cuál es la zonificación más disponible para las abejas? y ¿En cuál zonificación del DRMI San Silvestre predomina el área recorrida por las abejas “Apis Mellifera”?

Figura 19

Mapa N° 7: Zonificación DRMI



Fuente. Procesamiento de capas en software ArcGIS

Tabla 20

Porcentaje de zonificación de DRMI San Silvestre disponible en el área recorrida por las abejas

DRMI BARRANCABERMEJA			
ZONIFICACION	AREA TOTAL	AREA DISPONIBLE	COBERTURA
	(km ²)	(km ²)	(%)
Subzona para el aprovechamiento sostenible	34,31	13,79	40,19
Zona Uso público	13,10	10,72	81,79
Subzona para la recreación			
Preservación	234,08	100,44	42,91
Restauración	35,73	18,05	50,51
Subzona para el desarrollo	166,80	69,62	41,74

Fuente. Procesamiento en software ArcGIS

En este análisis se identificó la zonificación del DRMI "Distrito Regional de Manejo Integrado Humedal San Silvestre" con mayor disponibilidad en el área de pecoreo de las abejas "Apis Mellifera". La mayor disponibilidad corresponde a la Subzona para el Uso Público y Recreación, con un área de 10,72 km², que representa el 81,79% del total de la zonificación. La siguiente zona disponible es la de Restauración, con un área de 18,05 km² y un porcentaje de 50,51%. Luego sigue la zona de Preservación con un 42,91%, la Subzona para el Desarrollo con un 41,74%, y finalmente, la Subzona para el Aprovechamiento Sostenible con un 40,19%.

Tabla 21.

Porcentaje de zonificación de DRMI San Silvestre impactado por el área recorrida por las abejas.

Zonificación DRMI San Silvestre	Área impactada Km2	Porcentaje (%)
Subzona para el aprovechamiento sostenible	13.79	6.48
Zona gnl Uso público Subzona para la recreación	10.72	5.04
Preservación	100.44	47.24
Restauración	18.05	8.49
Subzona para el desarrollo	69.62	32.74

Fuente. Procesamiento en software ArcGIS

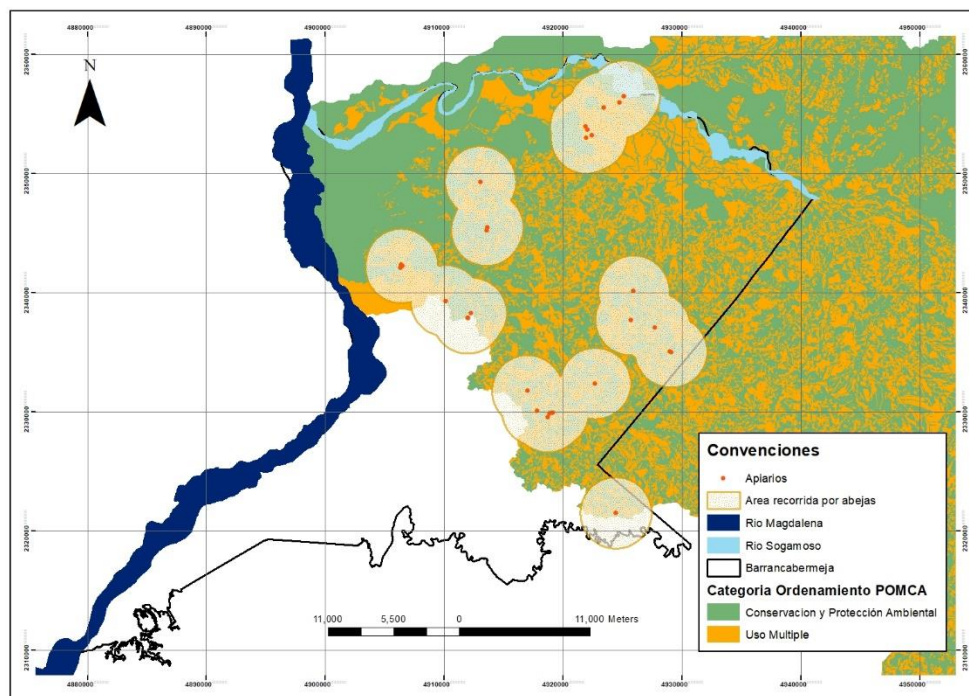
Por otra parte, en la tabla 21 se muestra el porcentaje recorrido por zonificación del total del área recorrida por las abejas en la zona del DRMI San Silvestre que corresponde a 212.61 km², donde se encuentra que del 100% del área recorrida por las abejas, el 47,24% corresponde a área de preservación, seguido del 32.74% recorrido en subzona para el desarrollo. Por otra parte, a pesar de que la zona general uso público subzona para la recreación es la más disponible (tabla21), en el área recorrida por las abejas, es la menos impactada.

Cabe resaltar que las demás determinantes ambientales como ley 2da y el DRMI Yarigués no están siendo impactadas por los apiarios existentes.

- 7. ¿En qué categoría del POMCA Sogamoso predomina las abejas “Apis Mellifera”?
y ¿cuál es la categoría más disponible?**

Figura 20

Mapa N° 8: Categorías POMCA SOGAMOSO



Fuente. Procesamiento de capas en software ArcGIS

Tabla 22

Porcentaje impactado por el área recorrida por las abejas por categoría del POMCA Sogamoso.

Categoría POMCA	Área intervenida (Km2)	Porcentaje (%)
Conservación y protección ambiental	171.83	54.47
Uso múltiple	143.63	45.53

Fuente. Procesamiento en software ArcGIS

En la tabla 22 se logra evidenciar que del 100% del área recorrida por las abejas en la zona del POMCA del río Sogamoso equivalente a 315.46 Km2, el 54.47% corresponde a la categoría

zona de conservación y protección ambiental y el 45.53% restante equivale a la categoría de uso múltiple.

Se resalta que las abejas desempeñan un papel esencial en la polinización, que es fundamental para la agricultura y la producción de alimentos. Al recorrer áreas de conservación, las abejas contribuyen a la polinización de plantas nativas, lo que a su vez fortalece los ecosistemas naturales. En contraste, el acceso a zonas de uso múltiple también puede ofrecerles una mayor diversidad de recursos florales, apoyando su salud y productividad.

Tabla 23

Porcentaje por categoría de POMCA Sogamoso disponible en el área recorrida por las abejas

CATEGORIA	AREA	AREA	AREA TOTAL EN	COBERTURA
	TOTAL	DISPONIBLE	BARRANCABERMEJA	(%)
	(km²)	(km²)		
Conservación y protección ambiental	2200,40	171,83	508.73	33.78
Uso múltiple	1228,26	143,63	356.32	40.31

Nota. Fuente. Procesamiento en software ArcGIS

Como se observa en el mapa 8 (figura 20) el área del POMCA Sogamoso se extiende más allá de los límites políticos de Barrancabermeja, por lo cual fue necesario hacer un clip para conocer el área del POMCA que está en el área de interés.

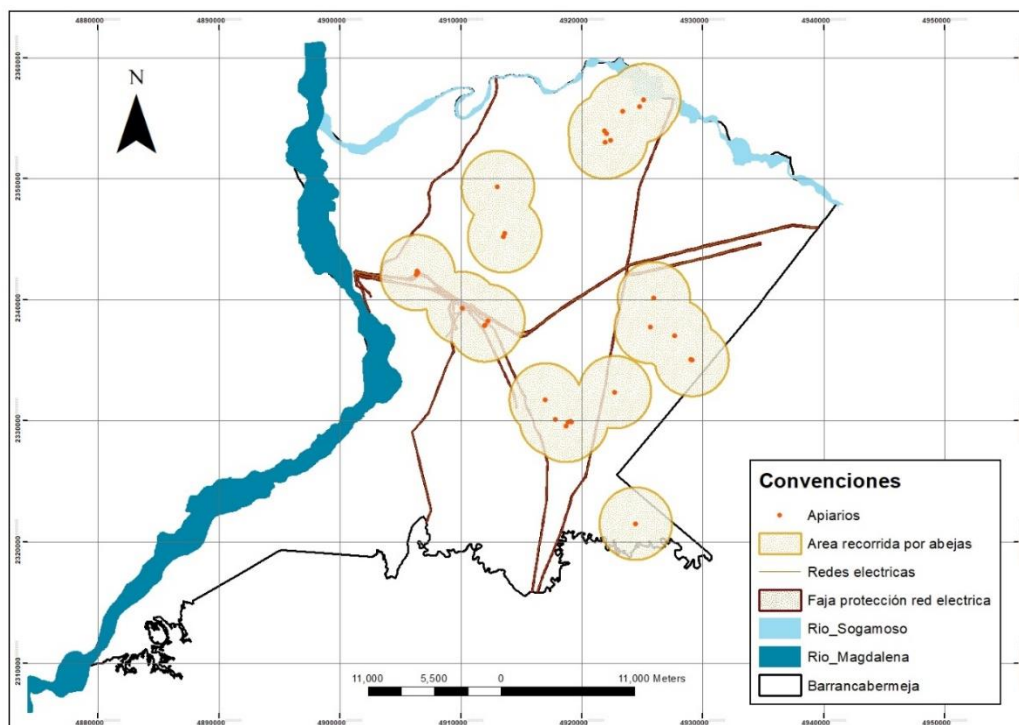
En la tabla 23 se logró identificar cuál es la categoría del POMCA “Sogamoso” que está más disponible en el área recorrida por las abejas “Apis Mellifera”, esta corresponde a Uso múltiple, con un área de 143,63 km² que comprende el 40,31% del total de área de dicha categoría dentro de los límites de Barrancabermeja. Por otra parte, la siguiente categoría impactada cuenta 171,83 km² con un área de 33,78% que corresponde a la categoría de Conservación y protección ambiental.

Por lo cual, a pesar de que el área con mayor disponibilidad en la zona pecoreo es la de uso múltiple, ésta no corresponde a la más impactada por las abejas.

8. ¿Qué incidencia tienen las redes eléctricas en el área de pecoreo de las abejas?

Figura 21

Mapa N° 9: Infraestructura- Red Electrica



Fuente. Procesamiento de capas en software ArcGIS

Tabla 24*Porcentaje impactado por presencia de redes en el área recorrida por las abejas*

INFRAESTRUCTURA - REDES ELECTRICA		
AREA TOTAL RECORRIDA POR	AREA IMPACTADA	PORCENTAJE (%)
ABEJAS (km ²)	(km ²)	
332.52	2.99	0.90

Nota. Fuente. Procesamiento en software ArcGIS

Como se mencionó anteriormente, el área total recorrida por las abejas en el municipio de Barrancabermeja es de 332.52 km². Ahora bien, según los datos de la tabla 24 se observa que las redes eléctricas ocupan un área de 2.99 km², lo que representa menos del 1% del área total. Aunque este valor parece ser bajo, es importante implementar medidas para reducir aún más este porcentaje. Esto podría incluir estrategias como la optimización de la ubicación de las redes eléctricas, el uso de tecnologías que minimicen el impacto en el hábitat de las abejas, y la colaboración con entidades pertinentes para mejorar la planificación urbana y rural en beneficio de la biodiversidad local.

Ahora bien, en la tabla 25 se muestra que del 100% de los registros de presencia de redes eléctricas en el municipio, el 38.76% se encuentran dentro del área de pecoreo de las abejas.

Tabla 25*Porcentaje de redes eléctricas ubicadas en el área recorrida por las abejas*

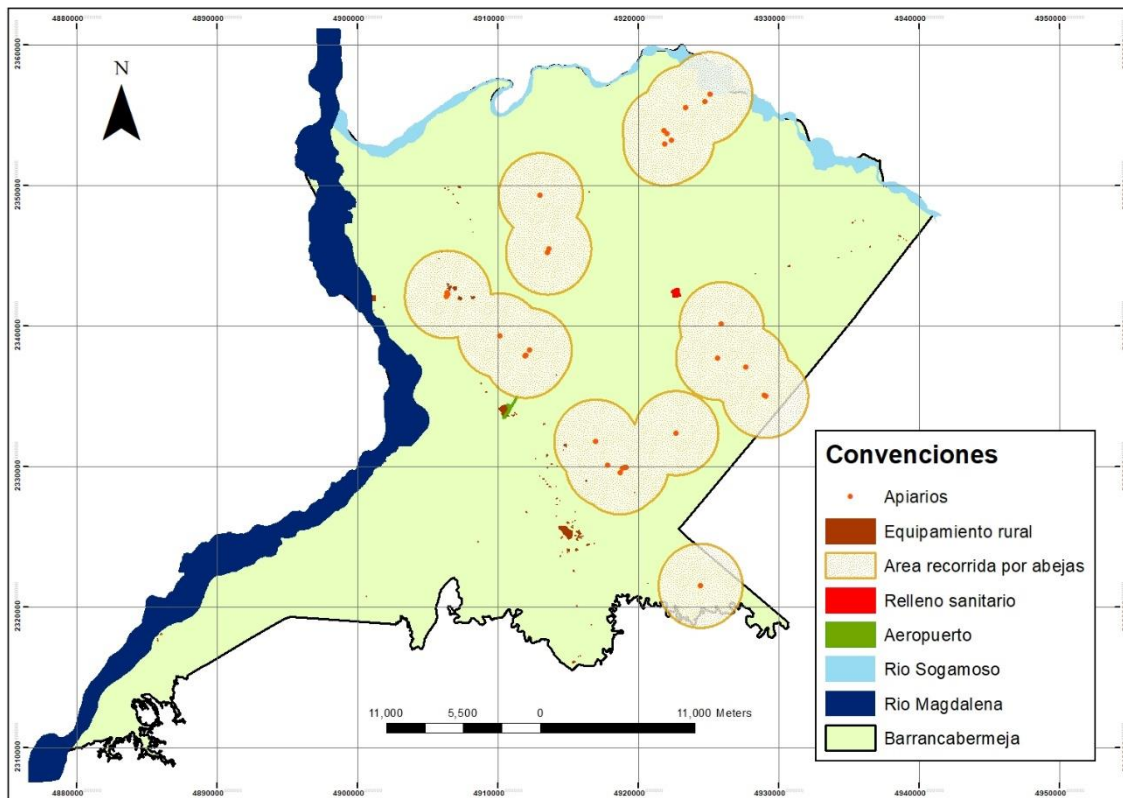
INFRAESTRUCTURA - REDES ELECTRICA			
INFRAESTRUCTURA	AREA TOTAL	AREA IMPACTADA	COBERTURA
	(km ²)	(km ²)	(%)
Red Eléctrica	7,722878	2,993117	38,76

Fuente: Procesamiento de capas en software ArcGIS

9. ¿Qué incidencia tiene el equipamiento del municipio en el área de pecoreo de las abejas?

Figura 22

Mapa N° 10: Equipamiento



Nota. Fuente Procesamiento de capas en software ArcGIS

Tabla 26

Porcentaje de área impactada por infraestructura del total del área recorrida de las abejas

INFRAESTRUCTURA	AREA IMPACTADA (km ²)	PORCENTAJE (%)
Aeropuerto	0.02	0.01
Equipamiento	0.04	0.01
Relleno sanitario	0.00	0.00

Nota. Fuente. Procesamiento en software ArcGIS

Considerando que el área total recorrida por las abejas abarca 332.52 km², el impacto generado por la presencia de infraestructura es inferior al 1%; cabe resaltar que para este análisis no se realizó un buffer alrededor de áreas como equipamientos, aeropuerto ni relleno sanitario, en este contexto, se está identificando el traslape directo con la infraestructura, lo cual indica que, aunque el impacto directo no es significativo, el impacto indirecto puede ser considerable, lo cual implica la necesidad de ubicar los apiarios a una distancia adecuada debido a consideraciones como ruido, olores y vertimientos, entre otros factores ambientales y de seguridad para las abejas. Este enfoque garantiza condiciones óptimas para la salud y el rendimiento de las colmenas, además de mitigar posibles conflictos con actividades humanas y estructuras urbanas.

Tabla 27

Porcentaje de área de infraestructura ubicada en el área de pecoreo de las abejas.

EQUIPAMIENTO- BARRANCABERMEJA			
EQUIPAMIENTO	AREA TOTAL	AREA IMPACTADA	COBERTURA
	(km²)	(km²)	(%)
Aeropuerto	0,42	0,02	4,57
Equipamiento	2,53	0,41	16.12
Relleno sanitario	0,31	0	0

Nota. Fuente. Procesamiento en software ArcGIS

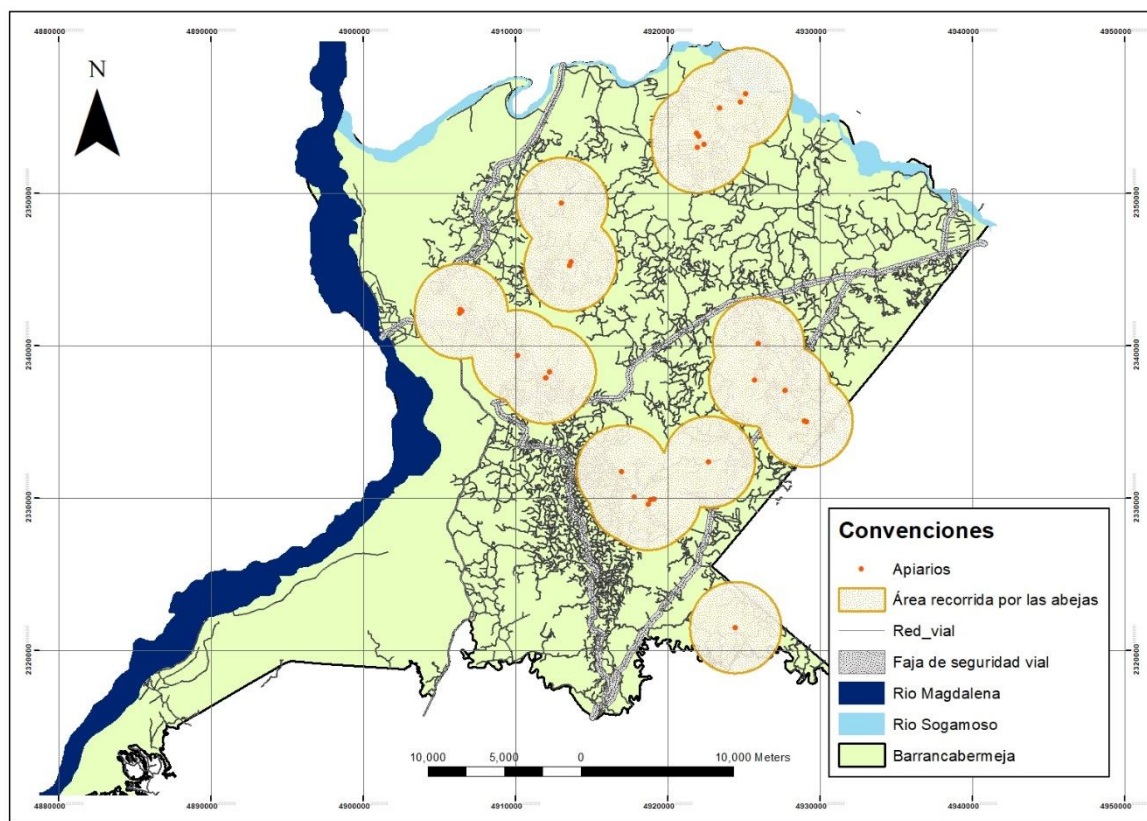
La incidencia que tiene el relleno sanitario y el aeropuerto con el área de pecoreo de las abejas es mínimo, con respecto al área del equipamiento rural, donde se consideran instituciones educativas, iglesias, cementerios, batallón, restaurantes y otras infraestructuras, con un porcentaje del 16,12%.

10. ¿Qué incidencia tiene el área de pecoreo de las abejas con la red vial del municipio?

La figura 23 muestra el mapa de redes viales en Barrancabermeja para determinar la incidencia del área de pecoreo respecto a la red vial municipal.

Figura 23

Mapa N° 11: Redes viales en Barrancabermeja.



Nota. Fuente. Procesamiento de capas en software ArcGIS

Tabla 28.

Porcentaje del total de redes ubicadas en el área de pecoreo

RED VIAL		
Área Total (Km2)	Área Impactada (Km2)	Porcentaje (%)
158.30	44.77	28.28

Nota. Fuente. Procesamiento en software ArcGIS

En Barrancabermeja existe un total de 158.30 km² influenciados por la faja de protección de las vías nacionales, departamentales, municipales y veredales, de ese 100%, el 28.28% está ubicado en la zona recorrida por las abejas. Lo cual quiere decir que la cuarta parte de las vías tienen algún tipo de impacto sobre las abejas. Es crucial destacar la importancia de estas vías para el transporte de productos apícolas; sin embargo, es importante considerar que el ruido generado puede tener un impacto negativo en las abejas. Por lo tanto, se recomendaría ubicar los apiarios fuera de la faja de protección vial para minimizar estos efectos adversos.

Tabla 29.*Porcentaje en red vial del área total del recorrido de las abejas*

RED VIAL		
Área Total (Km ²)	Área Impactada (Km ²)	Porcentaje (%)
332.52	44.77	13.46

Fuente. Procesamiento en software ArcGIS

El área impactada por la presencia de redes viales en el área de pecoreo es del 13.46%, lo que equivale a 44.77 km². Esta superficie es considerable, representando más del 10% del área total afectada. Por tanto, es crucial revisar la ubicación de los apiarios y asegurar el respeto por la zona de protección vial.

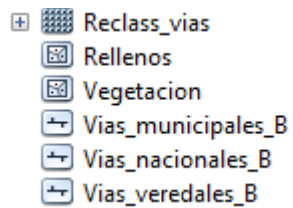
6.3 Fase III. Desarrollar un análisis multicriterio para definir áreas y ubicaciones potenciales de apiarios y generar salidas gráficas para informar la toma de decisiones.**6.3.1 Actividad 4. Procesamiento y reclasificación de capas**

En esta actividad se creó la geodatabase "Análisis_Multicriterio", como se evidencia en la figura 24 (Contenido geodatabase Análisis_Multicriterio). Dentro de esta geodatabase se almacenaron todas las capas generadas para obtener los rásteres finales de los factores hidrología, red vial, equipamiento, vegetación y determinantes ambientales. Entre estos se incluyen rásteres de distancias, rásteres reclasificados y rásteres finales, tal como se muestra en la figura denominada geodatabase Análisis_Multicriterio.

Figura 24

Contenido geodatabase Análisis_Multicriterio



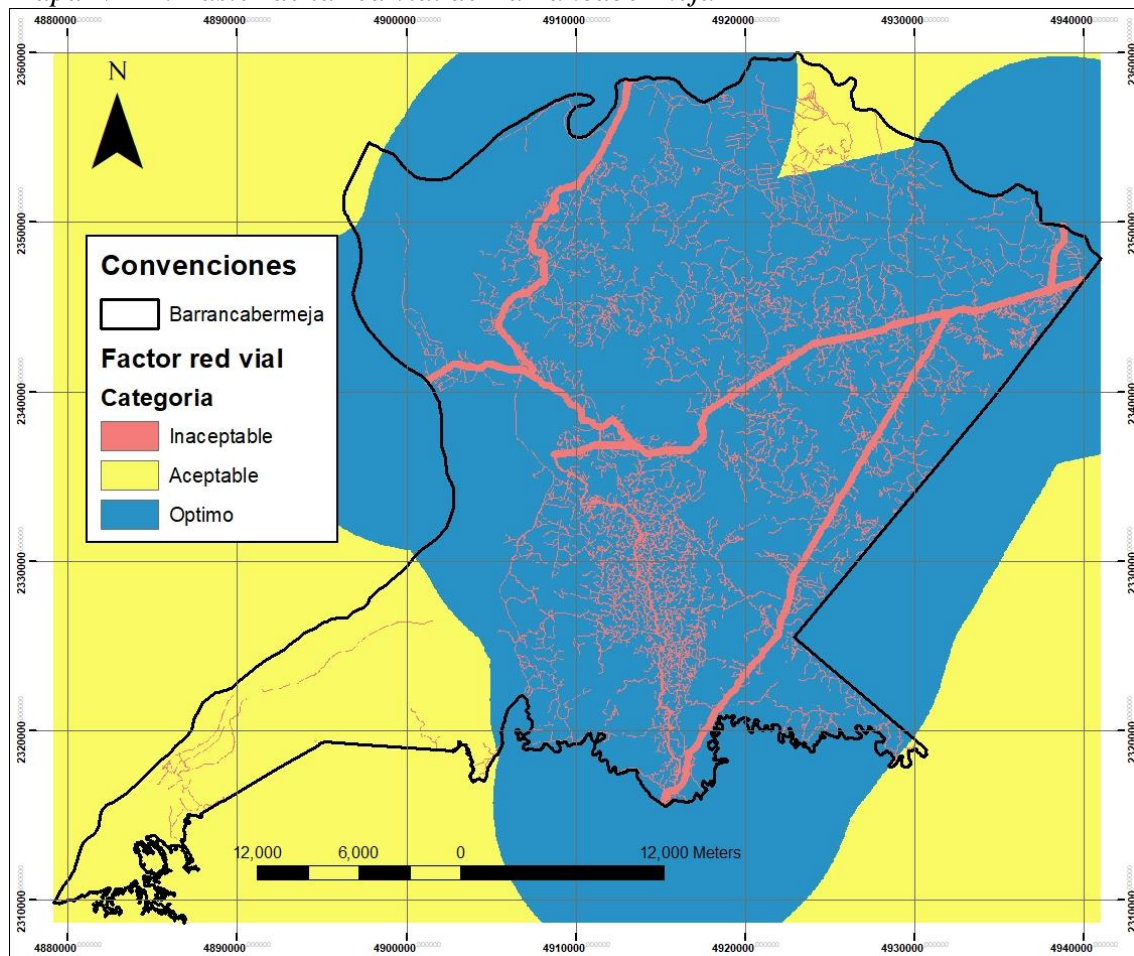


Fuente. Equipo Técnico de la Investigación

Para obtener los raster que se muestran a continuación, se empleó la metodología mencionada anteriormente, utilizando principalmente las herramientas “Distancia euclidiana”, “Reclasificar” y “Polígono a Raster”. De igual forma, se tuvieron en cuenta los criterios mencionados en la tabla 9 (Criterios por elemento), para categorizar cada píxel en inaceptable, aceptable y optimo.

Figura 25

Mapa N° 12. Raster de la red vial de Barrancabermeja



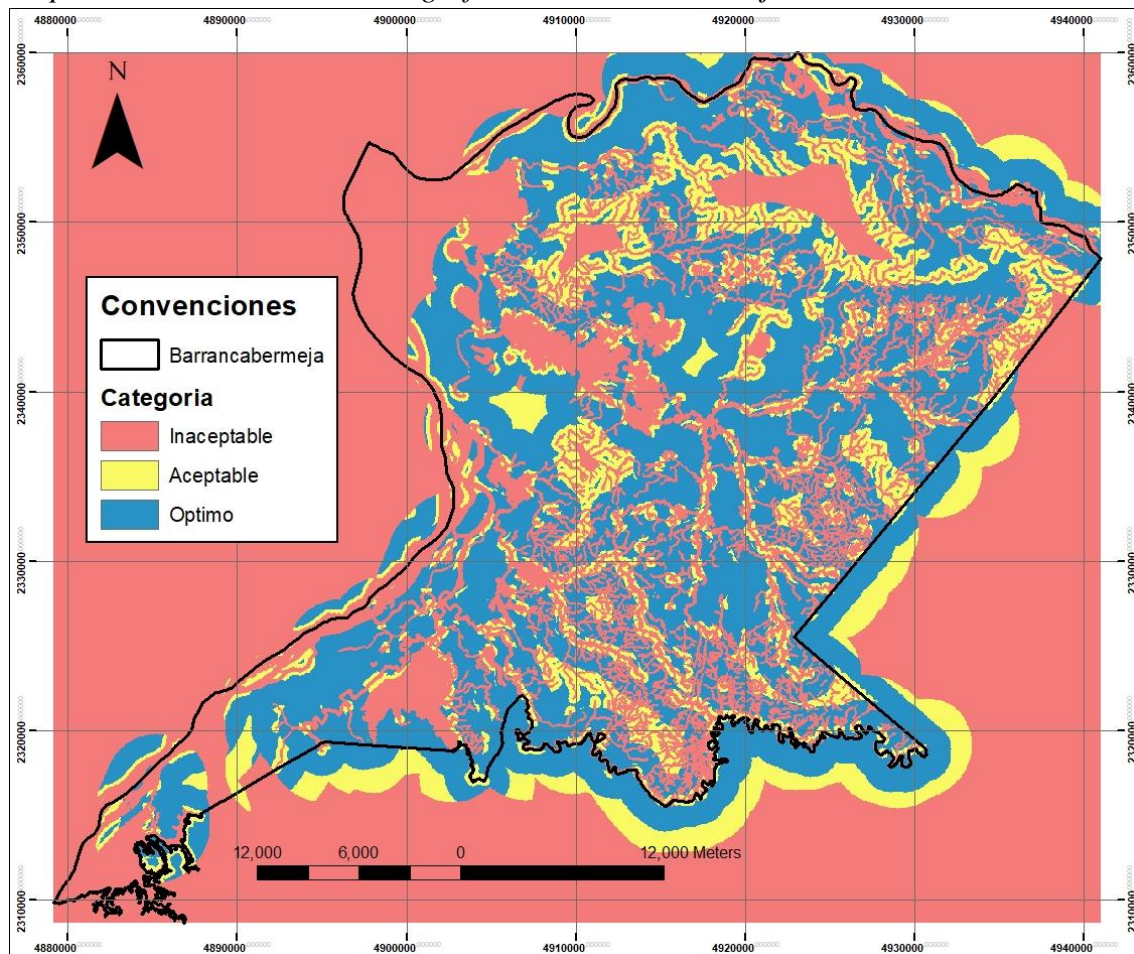
Nota.

Fuente.

Procesamiento de capas en software ArcGIS

Figura 26

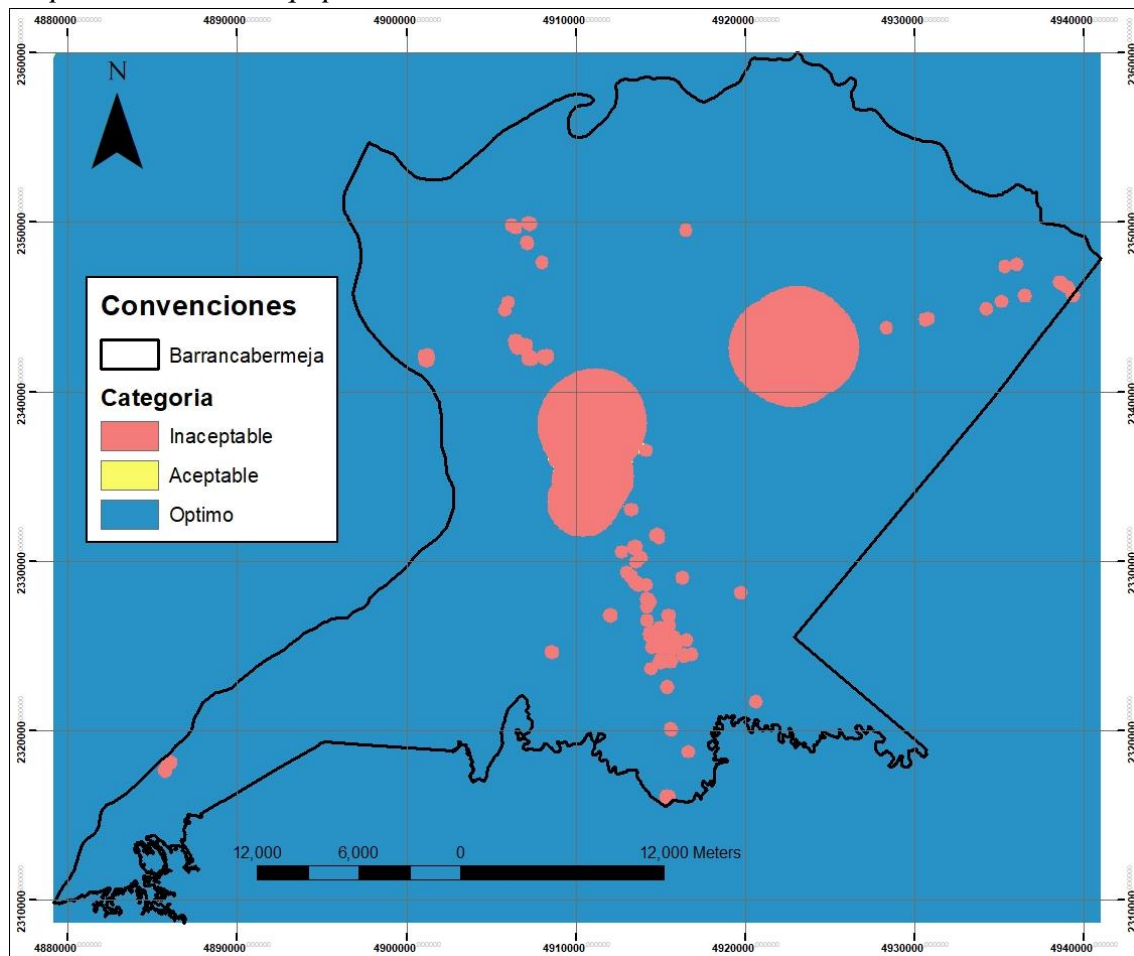
Mapa 13. Raster de la red hidrográfica de Barrancabermeja.



Nota. Fuente. Procesamiento de capas en software ArcGIS

Figura 27

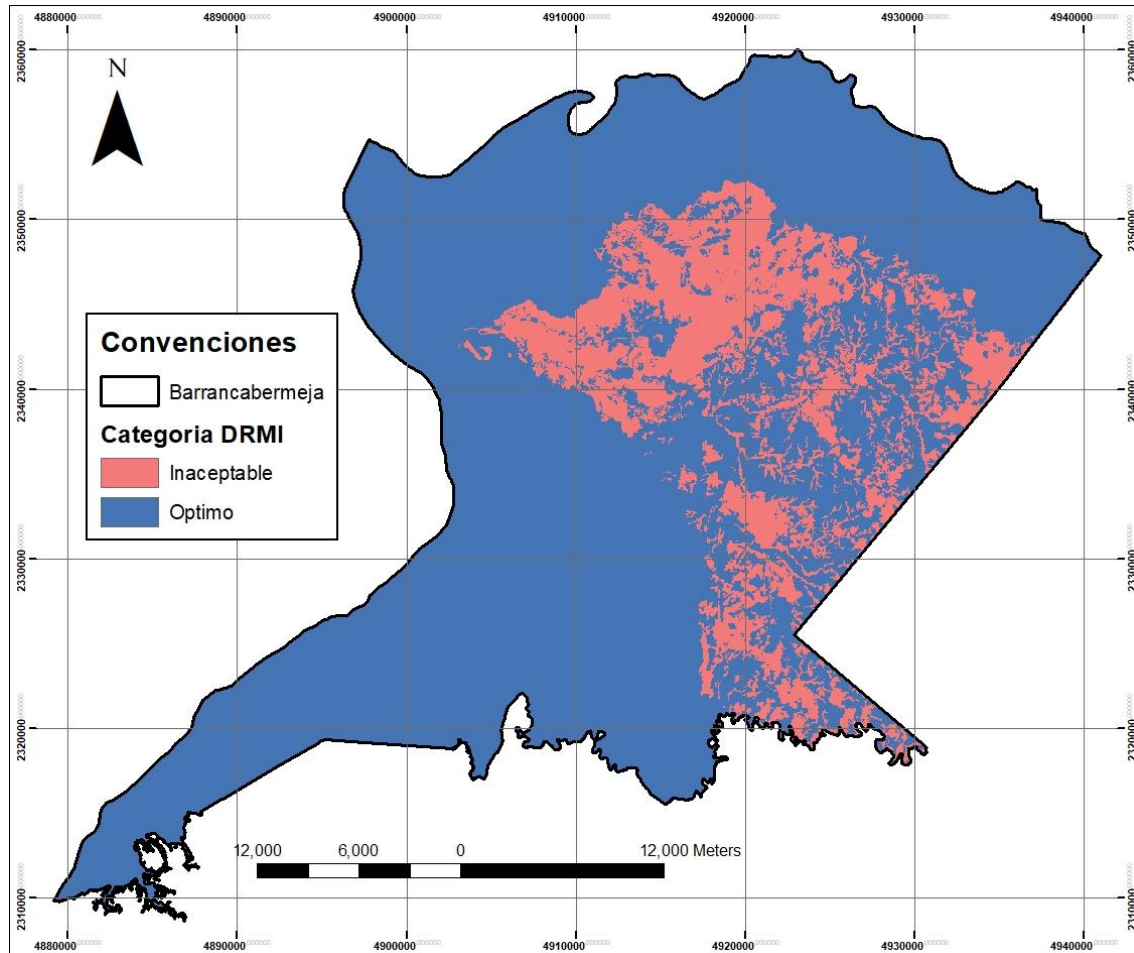
Mapa 14. Raster de equipamiento rural.



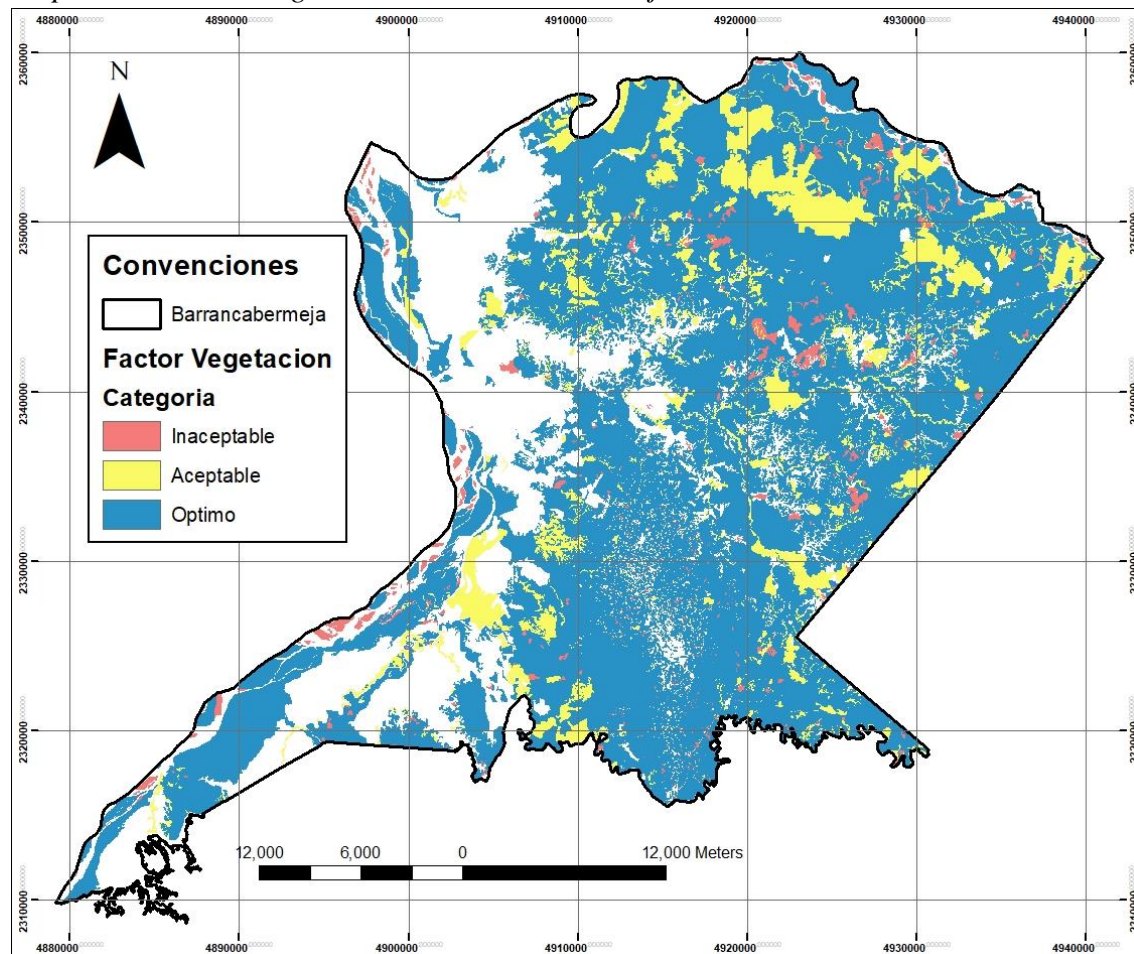
Fuente: Procesamiento de capas en software ArcGIS

Figura 28

Mapa 15 Raster de la determinante ambiental Distrito Regional de Manejo integrado San Silvestre DRMI



Fuente: Procesamiento de capas en software ArcGIS

Figura 29.*Mapa 16 Raster de vegetación en Barrancabermeja*

Fuente: Procesamiento de capas en software ArcGIS

En los mapas 12 al 16 se muestran los rásteres reclasificados, los cuales son un insumo fundamental para el análisis multicriterio. Estos rásteres reclasificados permiten estandarizar los diferentes factores en una escala común, facilitando así su integración y comparación.

Cada ráster reclasificado representa una variable crucial del entorno, ajustada según su importancia relativa en el análisis, proporcionando una base sólida y consistente para determinar las áreas óptimas y aceptables para la ubicación de un apiario.

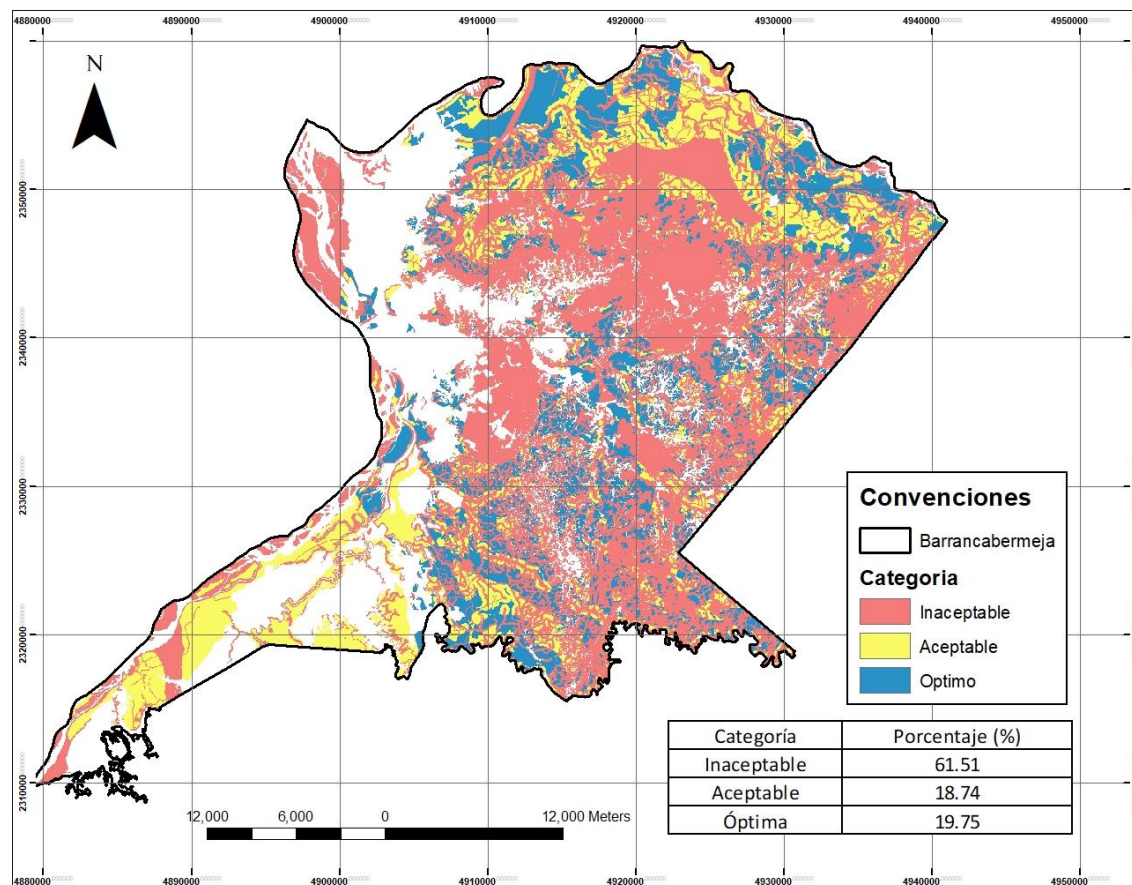
Se debe resaltar que el raster de vegetación no cubre toda el área de Barrancabermeja, por lo cual, las zonas blancas equivalen a aquellas que no tienen información. En este sentido, el cubrimiento de información corresponde al 74,98%.

6.3.1 Actividad 5. Análisis multicriterio o de factibilidad

Para realizar el análisis multicriterio se utilizó la herramienta “Raster Calculator” de la extensión Spatial Analyst Extension del ArcToolbox de ArcMap, utilizando los raster definitivos por factor y la ecuación mencionada en la metodología.

Figura 30.

Mapa 17 Resultado análisis multicriterio



Fuente:

En el mapa 17, figura 30; (Resultado análisis multicriterio), se presenta el resultado del análisis multicriterio con la extensión de Barrancabermeja, este clasifica las áreas en tres categorías basadas en su idoneidad para la ubicación de un apiario:

Rojo coral (Inaceptable): Estas zonas carecen de las condiciones necesarias para el bienestar de las abejas, ya sea por la falta de vegetación adecuada, acceso al agua, proximidad a fuentes de contaminación, equipamiento, vías, entre otros.

Amarillo (Aceptable): Aunque estas zonas pueden no ser las óptimas, ofrecen condiciones mínimamente adecuadas para el establecimiento de apiarios, estas condiciones pueden ser mejoradas con intervención y manejo adecuado.

Azul (Óptimo): Estas regiones cumplen con todos los criterios establecidos en el análisis multicriterio, proporcionando un ambiente ideal para el desarrollo y mantenimiento de las colmenas. Se resalta que las áreas verdes están dispersas, indicando que la selección de sitios específicos dentro de estas zonas será crucial para maximizar la productividad y salud de las colmenas.

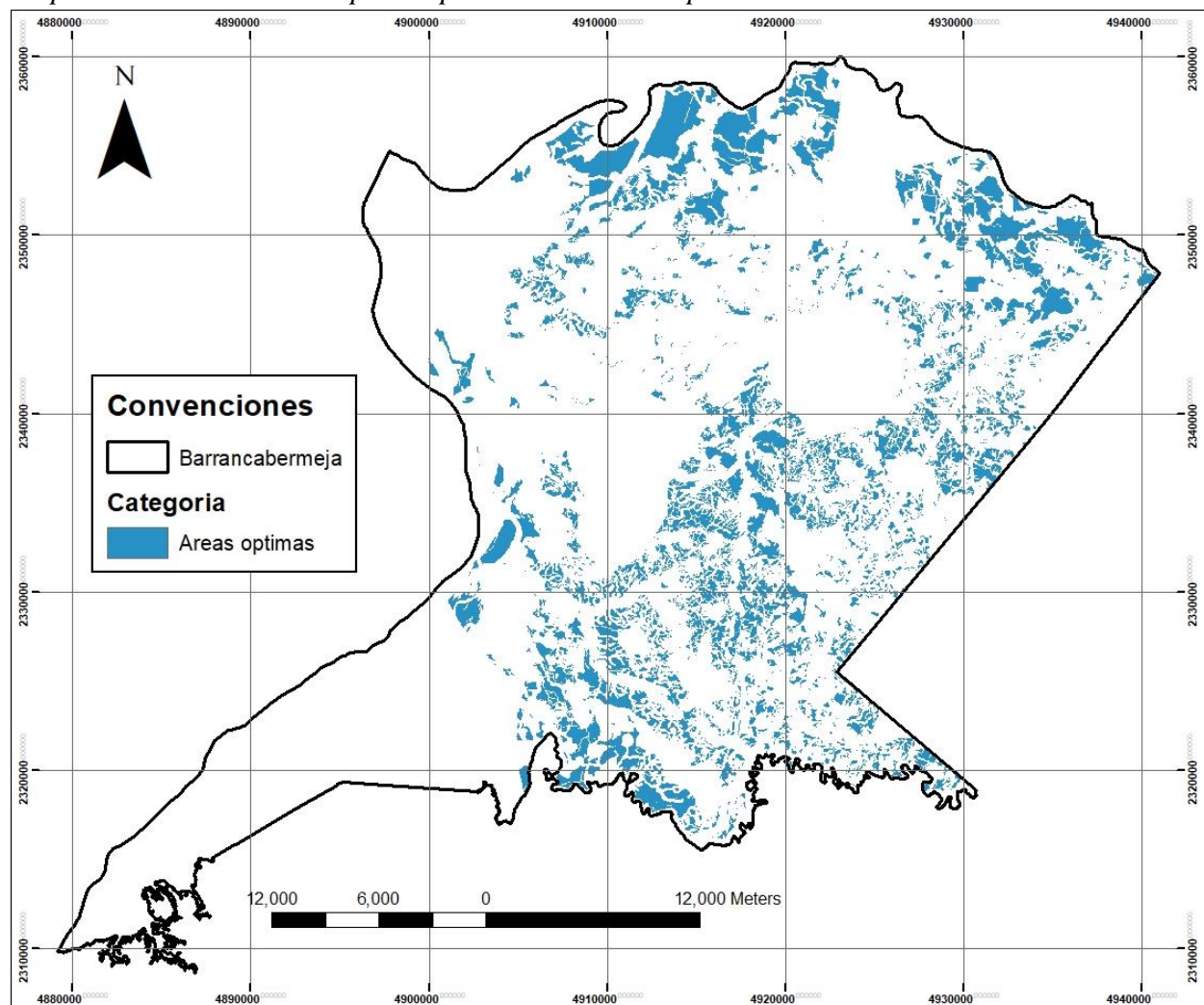
En cuanto al resultado, se debe aclarar que el área analizada corresponde al 74.98% del total de área de Barrancabermeja, debido a la falta de información en la capa de vegetación. Esto significa que un 25.02% del territorio, que incluye el área urbana de Barrancabermeja (2,32%), no fue incluido en el análisis actual y debe someterse a estudios posteriores. Esta omisión es significativa, ya que las áreas urbanas y sus alrededores pueden presentar características únicas y

desafíos específicos para la apicultura, como la presencia de contaminantes, la ausencia de vegetación adecuada y la interferencia con acciones antrópicas.

Los cálculos indican que, el 61,51% del área analizada corresponde a categoría inaceptable, de la cual el 39,60% hace parte del DRMI, es decir, son áreas en zonificaciones con restricciones ambientales. Por otra parte, el 18.74% corresponde a áreas aceptables y el 19.75% a áreas óptimas.

Figura 31.

Mapa 18 Resultado áreas óptimas para ubicación de apiarios



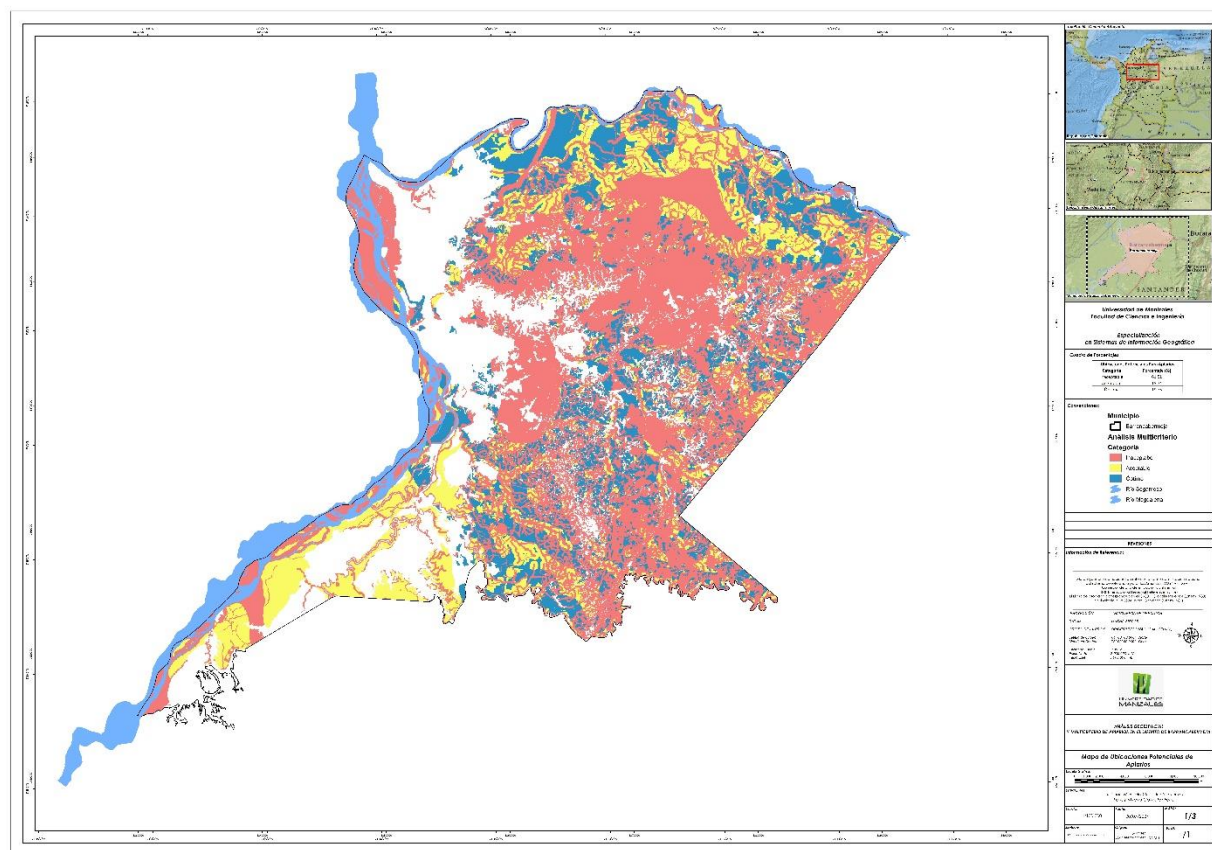
Fuente. Nota. Fuente: Procesamiento de capas en software ArcGIS

En este mapa se indican únicamente las áreas que son óptimas para establecer los apiarios, es decir, aquellas zonas en donde al menos cuatro de los cinco los factores evaluados tienen una categoría óptima.

6.3.2 Actividad 6. Generación de mapas:

Figura 32

Mapa 19. Mapa de categorías de ubicaciones potenciales de apiarios en el distrito de Barrancabermeja.



Fuente. Nota. Fuente: Procesamiento de capas en software ArcGIS

Estos mapas son de suma importancia para la toma de decisiones respecto a la actividad apícola en el distrito de Barrancabermeja, al dejar en evidencia aquellas zonas óptimas para la ubicación de apiarios y aquellas zonas que, por restricciones ambientales, lejanía de fuentes hídricas, proximidad a equipamiento rural, aeropuerto, rellenos sanitarios, inadecuada ubicación respecto a la red vial, o poca disponibilidad de alimento para las abejas, no son recomendables para la ubicación de los apiarios. Además, proporcionan una guía visual clara que facilita la identificación de áreas potenciales para el desarrollo apícola, optimizando así la producción y sostenibilidad de la apicultura en la región.

7. Conclusiones

En el área de estudio ubicada en el Distrito de Barrancabermeja, se llevó a cabo un análisis geoespacial y multicriterio para evaluar la distribución y adecuación de los apiarios existentes. Los resultados indicaron que cinco (5) apiarios se encuentran en una zona óptima, tres (3) en una zona aceptable, diecinueve (19) en una zona inaceptable y tres (3) en zonas sin información suficiente.

Los apiarios ubicados en zonas inaceptables carecen de las características necesarias para su desarrollo funcional, tales como cercanía a fuentes hídricas, vías de acceso, proximidad a equipamientos, cobertura vegetal adecuada y otros determinantes ambientales.

Para las áreas potenciales de desarrollo y establecimiento de nuevos apiarios, se desarrolló un análisis multicriterio, en el cual se establecieron categorías de cumplimiento de acuerdo con las condiciones medioambientales requeridas para el establecimiento y desarrollo funcional de los apiarios. Las categorías y sus porcentajes correspondientes fueron las siguientes: Inaceptable con un 61,51%, Aceptable con un 18,74% y Óptima con un 19,75%.

Es importante destacar que el análisis se realizó sobre el 74,98% del total del área de Barrancabermeja, debido a la falta de información completa en las capas geoespaciales de vegetación. Esto significa que un 25,02% del territorio, incluyendo el área urbana de Barrancabermeja (2,32%), no fue incluido en el análisis actual.

8. Recomendaciones

Se recomienda a la Secretaría de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural del Distrito de Barrancabermeja llevar a cabo análisis más detallados con capas geoespaciales actualizadas, que permitan el reconocimiento de la cobertura vegetal existente en todo el territorio de Barrancabermeja, para contar con una base de datos amplia a ser utilizada en el desarrollo de los nuevos proyectos apícolas.

Por otra parte, se recomienda implementar programas de capacitación y formación a los apicultores acerca de la importancia de las condiciones requeridas para el establecimiento y fortalecimiento de las colmenas, acorde a los criterios de desarrollo funcional, tales como: abundante vegetación, proximidad a fuentes de agua, ausencia de restricciones ambientales, buen acceso y lejanía de equipamientos rurales.

Implementar programas de educación y concientización dirigidos a la comunidad local y a los apicultores sobre la importancia de la apicultura sostenible y la protección de los ecosistemas, apalancados en alianzas con las autoridades ambientales para implementar prácticas apícolas sostenibles en los ecosistemas protegidos que contribuyan a la conservación de la biodiversidad.

Finalmente, se recomienda replicar este estudio a otros municipios donde la actividad apícola pueda tener importancia en la economía, ya que permitirá obtener una visión más amplia y representativa del impacto de la apicultura en diferentes regiones. Esto contribuirá a la formulación

de políticas y estrategias más efectivas para el desarrollo y sostenibilidad del sector, beneficiando tanto a los apicultores como a la economía local en su conjunto.

Referencias

- Agencia de Desarrollo Económico Local de Monte Plata. (2012) Escenario Estratégico de la Apicultura. República Dominicana. <https://produrreterritorio.wordpress.com/wp-content/uploads/2012/11/documento-scenario-strategico-pagine-separate.pdf>
- Alleri, M., Amoroso, S., Catania, P., Lo Verde, G., Orlando, S., Ragusa, E., Sinazori, M., Vallone, M., Vella, A. (2023). Recent developments on precision beekeeping: A systematic literature review. *Journal of Agriculture and Food Research*. Vol 14.
- Brock, S., & Brislawn, C. (2020). "The use of drones in precision apiculture." *Journal of Apicultural Research*, 59(2), 233-239.
- Bonet, F. J., Chiroso, M., & Rosúa, J. L. (2001, June). Utilización de técnicas de evaluación multicriterio para la elaboración del mapa apícola de la provincia de Granada. In *Congresos Forestales*.https://secforestales.org/publicaciones/index.php/congresos_forestales/article/view/15770/15613
- Camargo, Simone C. Garcia, Regina Conceição, Feiden, Armin, De Vasconcelos, Edmar S., Pires, Bruno G., Hartleben, Alceu M., De Moraes, Fernanda J., De Oliveira, Luan, Giasson, Juyverson, Mittanck, Eduardo S., Gremaschi, Jeferson R., Pereira, Diana J. 2014. Implementación de un sistema de información (SIG) para la planificación de apicultura en la región oeste de Paraná. *Un Acad Bras Cienc* 86: 955–971.
- Chang, K. T. (2018). "Introduction to Geographic Information Systems." McGraw-Hill Education.
- Cotrina-Sanchez, A., García, L., Calle, C., Sari, F., Bandopadhyay, S., Rojas-Briceño, N. B., ... & Oliva, M. (2023). Multicriteria Analysis in Apiculture: A Sustainable Tool for Rural Development in Communities and Conservation Areas of Northwest Peru. *Land*, 12(10), 1900

- Da Silva, G. A. F. (2015). *Aplicação de SIG para ordenamento apícola na região de Castelo Branco* (Master's thesis, Instituto Politecnico de Castelo Branco (Portugal)).
- Debórtoli, D. O., Rodriguez, D. A., & Brignole, N. B. (2023). Diseño de un Sistema de Soporte de Decisión para el Desarrollo Productivo Apícola. *Mecánica Computacional*, 40(32), 1171-1181.
- Díaz Zorilla, G., Fernández Echeverría, E., Fernández Lambert, G., Luna Chontal, G., Martínez Mendoza, E., Roque Peña, J. (2019). Caracterización apícola en la región sierra centro-norte de Veracruz: contexto y trashumancia. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. Vol 10(6), 1339-1351.
- Eastman J.R. (1997) Idrisi for Windows. Tutorial exercises. Clark University
- Espejel-García, A., Romero-Domínguez, J., Barrera-Rodríguez, A. I., Torres-Espejel, B., & Félix-Crescencio, J. (2015). Determinación del uso Potencial Agrícola Mediante Modelación Geoespacial y Análisis Multicriterio para La Cuenca Balsas Mezcala. *Ra Ximhai*, 11(5), 77-95.
- FAO (2020). "The Use of Geographic Information Systems in Apiculture." Food and Agriculture Organization of the United Nation
- Fazel, A., Abdul, R., & Mohamed, S. (2012). Application of geographic information systems in landuse suitability evaluation for beekeeping: A case study of Vahregan watershed (Iran). *African Journal of Agricultural Research*, 7(1), 89–97
- Fernandez, P., Roque, N., & Anjos, O. (2016). Spatial multicriteria decision analysis to potential beekeeping assessment. Case study: Montesinho Natural Park (Portugal). In 19th AGILE International Conference on Geographic Information Science-Geospatial Data in a Changing World. Tapani Sarjakoski, Maribel Yasmina Santos and L. Tiina Sarjakoski.

Gómez, M, Barredo, J. 2005. *Sistemas de Información Geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio*, Editorial Ra-Ma, 2ª Edición, Madrid, España.

Hidalgo Fernández, R. E., Gutiérrez de Ravé Agüera, Moral García, e., Jiménez Hornero, F. J., & Serrano Jiménez, s. (2004). Integración de la información medioambiental disponible del parque natural sierra de hornachuelos, en un SIG enfocado al sector apícola. *Dialnet*.

João Marque, O. A., João Neto, P. F., & Dulce Alves, J. N. (2014). *Desenvolvimento de uma Metodologia SIG para Ordenamento Apícola*.

Jaurez Zarza, C. R. (2017). Localización Óptima de Apiarios mediante Evaluación Multicriterio en la Región XV del Estado de México.

Kitchin, R. (2014). "Big data, new epistemologies and paradigm shifts." *Big Data & Society*, 1(1), 2053951714528481.

Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., & Rhind, D. W. (2015). "Geographic Information Systems and Science." Wiley.

López Santiago, M. S. (2011). Determinación de la flora de interés apícola mediante mapeo satelital.

Luna Chontal, Giovanni, Roque Peña, Juan Gabriel, Fernández Echeverría, Eduardo, Martínez Mendoza, Eduardo, Díaz Zorrilla, Ulises Asrrael, & Fernández Lambert, Gregorio. (2019). Caracterización apícola en la región sierra centro-norte de Veracruz: contexto y trashumancia. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 10(6), 1339-1351. Epub 02 de octubre de 2020. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i6.1689>

Navarro, R., & Aguilera, M. (2009). Resultados y lecciones en sistema de información geográfico para mejoramiento de la gestión apícola: proyecto de innovación en Región del Maule.

ROOT A.I. (1995) 10 Temas de apicultura. M.A.P.A.

Pantoja, G., Gómez, M., Contreras, C., Grimau, L., & Montenegro, G. (2017). Determinación de zonas adecuadas para uso apiturístico, mediante evaluación de multicriterios, en sistema de información geográfica: Estudio de caso en la Región O'Higgins, Chile. *Ciencia e investigación agraria*, 44(2), 139-153.

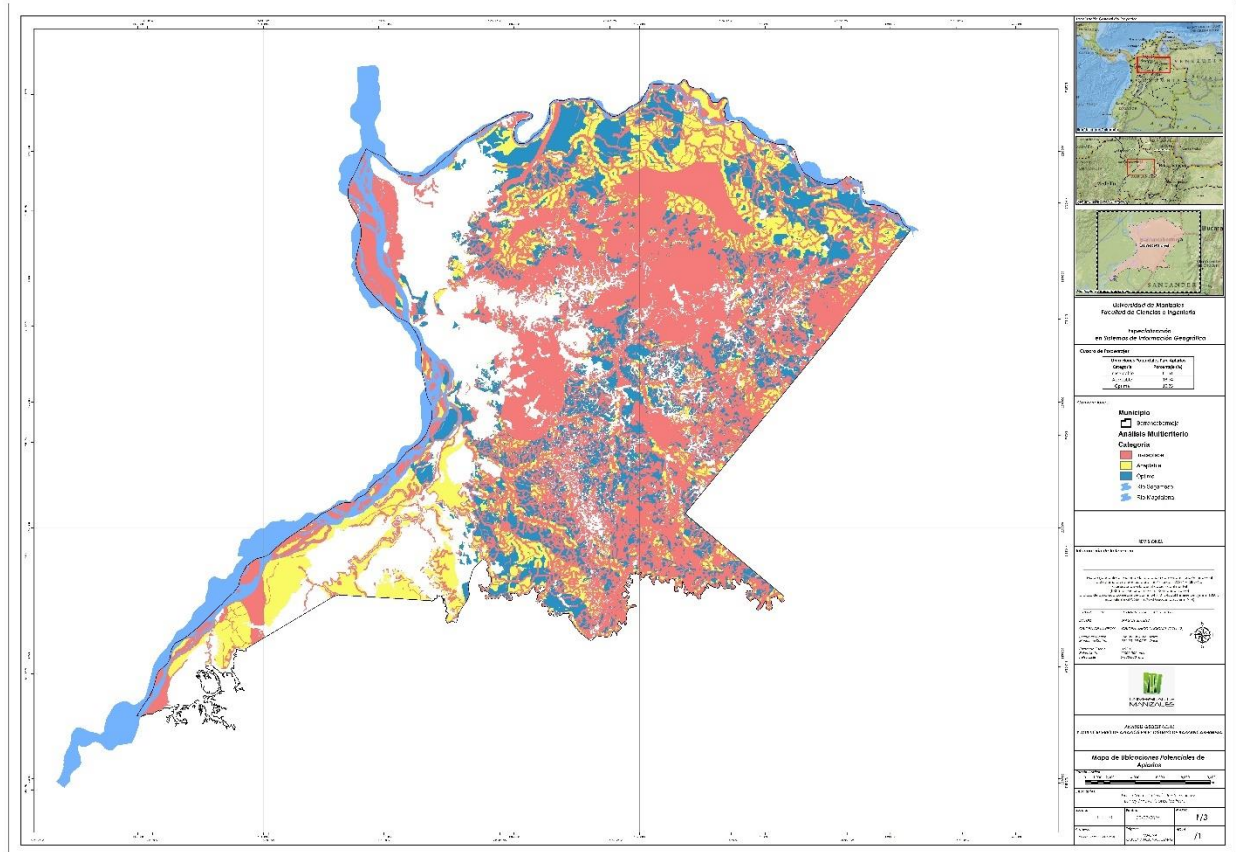
Peña, M. A., & Zegers, D. A. (2020). Valoración de la aptitud vegetal para la apicultura orgánica. *Revista Geográfica de Chile Terra Australis*, 56(1), 129-138.

Santiago, I. (2005). Fundamentos de ArcGis. *Versión ArcView*, 9.

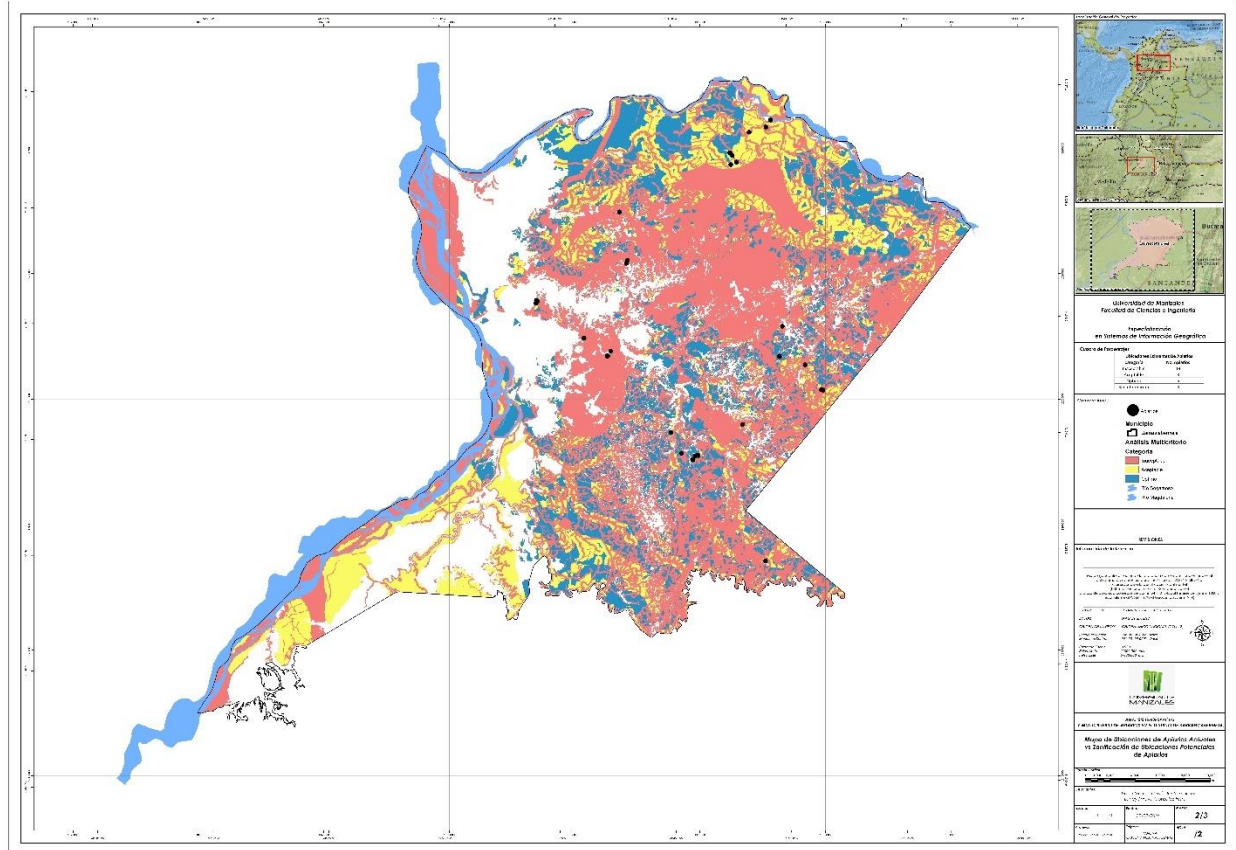
Schurischuster, R., et al. (2019). "Predictive models for beekeeping management." *Computers and Electronics in Agriculture*, 167, 105064.

Software de Representación Cartográfica SIG, Inteligencia de Esri, 2023 <https://www.esri.com/es-es/home>

Anexo 1. Mapa de zonificaciones de ubicaciones potenciales de apiarios en el distrito de Barrancabermeja



Anexo 2. Mapa de ubicaciones de apiarios actuales en el distrito de Barrancabermeja vs. mapa de ubicaciones potenciales de apiarios en el distrito de Barrancabermeja



Anexo 3. Mapa de ubicaciones potenciales óptimas de apiarios en el distrito de Barrancabermeja

