



## **Zonificación agroecológica mediante SIG y priorización espacial de áreas de sustitución de cultivos ilícitos por cacao en Puerto Asís - Putumayo**

Natalia Edith Amado Ariza

Luis Felipe Gaitán Idárraga

Trabajo de grado presentado para optar al título de Especialista en Sistemas de Información Geográfica

Asesor: Mario Andrés Giraldo Fadul,, Docente (PhD) en Ingeniería

Universidad de Manizales  
Facultad de Ciencias e Ingeniería  
Especialización en Sistemas de Información Geográfica  
Manizales, Caldas, Colombia  
2025

---

<b>Cita</b>	(Amado Ariza & Gaitan Idarraga, 2025)
<b>Referencia Estilo</b>	Amado, N. & Gaitan, F. (2025). <i>Zonificación agroecológica mediante SIG y priorización espacial de áreas para la sustitución de cultivos ilícitos por cacao en el municipio de Puerto Asís, Putumayo</i> . [Trabajo de grado especialización]. Universidad de Manizales. RIDUM: Repositorio Institucional Universidad de Manizales.
<b>APA 7 (2020)</b>	

---



**Declaración de inteligencia artificial:** el o los autores de este trabajo de grado declaran que han utilizado herramientas de inteligencia artificial (IA), tales como ChatGPT y Turnitin, de manera ética y responsable, tal como se establece en el Acuerdo UManizales 002 (julio 26 de 2023) sobre propiedad intelectual e IA. Estas herramientas son empleadas como apoyo en la redacción, revisión gramatical y generación de ideas, pero en ningún caso sustituyen el análisis crítico, la argumentación académica ni la originalidad del trabajo. Asimismo, cualquier contenido generado con Asistencia de IA está citado y referenciado adecuadamente, garantizando la integridad académica y el cumplimiento de los principios éticos de la investigación.

**Biblioteca y Centro de Recursos:** <https://biblioteca.umanizales.edu.co/>

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

**Universidad de Manizales:** [www.umanizales.edu.co](http://www.umanizales.edu.co)

**Revistas:** <http://revistasum.umanizales.edu.co/>

**Fondo Editorial:** <https://editorialum.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**

Dedico este proyecto a mí misma, porque a pesar de las dificultades y de los retos que impuso mi salud, encontré la fuerza para continuar y no rendirme. Cada página de este trabajo refleja no solo dedicación y disciplina, sino también el amor propio y la resiliencia que me acompañaron en este camino.

Es un testimonio de que, aun en los momentos más difíciles, con fe, perseverancia y compromiso es posible levantarse y seguir adelante. Este logro es más que un requisito académico: es una victoria personal que guardaré siempre en mi corazón.

### **Agradecimientos**

Agradezco en primer lugar a mí misma, por la constancia, disciplina y esfuerzo que me permitieron avanzar y culminar con éxito este proceso académico, aun en medio de las dificultades que se presentaron en el camino.

De manera especial, expreso mi gratitud a Leandro, por su comprensión y apoyo al brindarme la posibilidad de asistir a clases, entendiendo lo complejo que resultaba viajar desde El Carmen de Bolívar hasta Manizales, y colaborando en lo laboral para que pudiera cumplir con esta meta.

Asimismo, agradezco profundamente a Jonnier, quien se convirtió en un pilar fundamental durante este proceso y su paciencia que me impulsó a llegar hasta el final.

## Tabla de contenido

Resumen .....	8
Abstract.....	9
Introducción.....	10
1. Planteamiento del problema.....	11
1.1 Descripción del área problema.....	13
1.2 Formulación del problema .....	15
1.3 Antecedentes .....	16
2. Justificación .....	19
3. Objetivos .....	21
3.1. Objetivo general.....	21
3.2. Objetivos específicos .....	22
4. Marco teórico .....	23
4.1. Referente normativo y legal.....	28
4.1.1. Constitución Política de Colombia (1991) .....	28
4.1.2. Ley 160 de 1994.....	28
4.1.3. Ley 99 de 1993.....	29
4.1.4. Decreto 1987 de 2017 (PNIS).....	29
4.1.5. Decreto 1076 de 2015 (Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible) .....	29
4.1.5. Ley 1955 de 2019 (Plan Nacional de Desarrollo 2018–2022).....	29
4.1.6. Acuerdo Final para la Terminación del Conflicto y la Construcción de una Paz Estable y Duradera (2016).....	30
4.1.7. Directrices FAO sobre planificación del uso sostenible del suelo (FAO, 1993; 2020) .....	30

---

5.	Metodología .....	31
5.1.	Enfoque metodológico .....	31
5.2.	Tipo de estudio.....	31
5.3.	Procedimiento .....	33
	5.3.1. Fase 1. Recolección de información .....	33
	5.3.2. Fase 2. Procesamiento de la zonificación agroecológica del cultivo de cacao .....	35
	5.3.3. Fase 3. Análisis y representación espacial de variables .....	36
	5.3.4. Fase 4: Salidas graficas.....	39
6.	Resultados esperados.....	40
	6.1. Impactos Esperados.....	43
7.	Resultados .....	45
8.	Conclusiones .....	57
	Referencias .....	59
	Anexos.....	62
	Anexo A. Base de datos geográfica.....	62

**Lista de tablas**

Tabla 1	Papel del marco teórico en el estudio cuantitativo .....	27
Tabla 2	Resultados y productos esperados de la investigación .....	42

### Lista de figuras

Figura1 Desarrollo de la perspectiva teórica .....	26
Figura 2 Tipos de estudios cuantitativos.....	32
Figura 3 Metodología. ....	33
Figura 4 Plataforma WordClim. ....	34
Figura 5 Plataforma del IDEAM .....	34
Figura 6 Plataforma del STRM .....	35
Figura 7 Plataforma del Colombia en mapas.....	35
Figura 8 Ubicación nacional Puerto Asís .....	45
Figura 9 Mapa de altitud Puerto Asís .....	46
Figura 10 Mapa de centros poblados Puerto Asís .....	47
Figura 11 Mapa de vías Puerto Asís .....	48
Figura 12 Mapa de coberturas Puerto Asís.....	49
Figura 13 Mapa de pendientes Puerto Asís .....	50
Figura 14 Mapa de precipitaciones Puerto Asís .....	51
Figura 15 Mapa de registro único nacional de áreas protegidas - RUNAP.....	52
Figura 16 Mapa de temperatura Puerto Asís .....	53
Figura 17 Mapa de cultivos de uso ilícito Puerto Asís .....	54
Figura 18 Mapa de áreas aptas para la sustitución de cultivos de uso ilícito Puerto Asís .....	55
Figura 19 Mapa de áreas priorizadas para la sustitución de cultivos de uso ilícito Puerto Asís ..	56

## Resumen

El municipio de Puerto Asís, Putumayo, ha sido históricamente afectado por la presencia de cultivos de uso ilícito, situación que ha generado impactos negativos sobre el territorio y las dinámicas sociales rurales. En este contexto, el cultivo de cacao se presenta como una alternativa productiva viable y sostenible para la sustitución de dichos cultivos. El presente proyecto tiene como objetivo general identificar zonas agroecológicamente aptas para el cultivo de cacao en Puerto Asís, mediante un análisis espacial que integre factores ecológicos, socioeconómicos y de accesibilidad.

La metodología se basa en el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para desarrollar una zonificación agroecológica a partir de variables como suelo, pendiente, precipitación y temperatura. Posteriormente, se determinará la coincidencia entre estas zonas aptas y las áreas actualmente ocupadas por cultivos ilícitos, a fin de identificar potenciales territorios de intervención. Finalmente, se realizará una priorización de las zonas más adecuadas para el cultivo de cacao, considerando su cercanía a centros poblados y vías de acceso.

Se espera como resultado un conjunto de mapas temáticos que orienten la toma de decisiones en procesos de planificación territorial y sustitución de cultivos, así como una base de datos geográfica que consolide la información analizada. Este trabajo contribuirá al desarrollo rural sostenible del municipio y a la construcción de estrategias territoriales de desarrollo alternativo con enfoque agroecológico.

Palabras clave: Zonificación agroecológica, Sistemas de Información Geográfica (SIG),

Sustitución de cultivos ilícitos, Cacao, Análisis espacial, Desarrollo rural sostenible.

*Palabras clave:* Zonificación agroecológica, Sistemas de Información Geográfica (SIG),

Sustitución de cultivos ilícitos, Cacao, Análisis espacial, Desarrollo rural sostenible.

### **Abstract**

The municipality of Puerto Asís, located in the department of Putumayo, has historically been affected by the presence of illicit crops, generating negative impacts on the territory and rural social dynamics. In this context, cocoa cultivation emerges as a viable and sustainable productive alternative for the replacement of such crops. This project aims to identify agroecologically suitable areas for cocoa cultivation in Puerto Asís through a spatial analysis that integrates ecological, socioeconomic, and accessibility factors.

The methodology is based on the use of Geographic Information Systems (GIS) to develop an agroecological zoning using variables such as soil, slope, precipitation, and temperature. Subsequently, areas of coincidence between suitable cocoa zones and current illicit crop areas will be identified to highlight potential intervention zones. Finally, prioritization will be conducted based on proximity to populated centers and road access.

Expected results include a set of thematic maps to support decision-making processes in territorial planning and crop substitution strategies, as well as a geodatabase consolidating the analyzed information. This study contributes to the sustainable rural development of the municipality and supports the design of territorial strategies for alternative development with an agroecological approach.

*Keywords:* Agroecological zoning, Geographic Information Systems (GIS), illicit crop

## Introducción

El municipio de Puerto Asís - Putumayo históricamente ha sido marcado y marginado por ser una zona clave en el desarrollo del conflicto armado, lo que ha limitado las oportunidades de inversión y desarrollo de las comunidades a lo largo de los años, este fenómeno se recrudeció con la siembra masiva de cultivos ilícitos usados por los grupos narcotraficantes para su financiamiento.

Este tipo de cultivos inicialmente se presentan como una solución rápida a las crisis económicas que se percibían en el municipio debido a el índice de ganancias que les eran prometidos por dichos grupos.

Sin embargo, esta presunta solución a los problemas económicos trae consigo la escalada sistemática de la violencia profundizada por las disputas territoriales.

Debido a esto la transición de cultivos ilícitos a cultivos que pueden ser aprovechados por la comunidad y que favorezcan al saneamiento de la comunidad.

Debido a esto el cultivo de cacao surge como una estrategia de transición debido a que este es altamente comercializable y su amplio grado de adaptabilidad, sin embargo para realizar la zonificación de puntos adecuados se deben implementar estrategias de alto grado de fiabilidad y que permita analizar grandes extensiones de suelos, es aquí en donde surgen los sistemas de información geográfica o SIG para realizar dicha tarea debido a que estos sistemas cumplen con los requerimientos técnicos necesarios para su implementación y facilitan la visibilidad a gran escala del territorio facilitando una visión holística del municipio y sus características.

## 1. Planteamiento del problema

El municipio de Puerto Asís, en el departamento del Putumayo, ha sido históricamente uno de los principales epicentros de cultivos de uso ilícito en Colombia. Desde finales del siglo XX, este territorio ha evidenciado una estrecha dependencia económica del cultivo de hoja de coca, enmarcada en una compleja relación entre pobreza estructural, ausencia estatal, presencia de actores armados y condiciones de exclusión social (Fundación Ideas para la Paz [FIP], 2020). A pesar de múltiples esfuerzos institucionales, como el Plan Colombia, el Programa Nacional Integral de Sustitución de Cultivos Ilícitos (PNIS) y los programas de desarrollo alternativo, los resultados han sido fragmentarios, limitados en el tiempo y, en muchos casos, insostenibles (FIP, 2020).

Según datos del Sistema Integrado de Monitoreo de Cultivos Ilícitos (SIMCI) y del Observatorio de la Amazonía de la Fundación para la Conservación y el Desarrollo Sostenible (FCDS), Puerto Asís concentraba cerca del 21 % del total de cultivos de coca en el departamento, y aún figura entre los municipios con mayor densidad de hectáreas sembradas (FCDS, 2023; Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito [UNODC], 2022). Si bien las cifras han variado a lo largo del tiempo por procesos de erradicación manual y forzada, el fenómeno ha persistido y evolucionado, adaptándose a nuevas configuraciones de actores ilegales y escenarios de conflictividad territorial (FIP, 2020).

En este contexto, cobra total relevancia el desarrollo de propuestas investigativas y técnicas que no solo caractericen el fenómeno desde una perspectiva cuantitativa, sino que integren una mirada territorial, socioeconómica y ecológica. La presente investigación propone una zonificación agroecológica en Puerto Asís que permita identificar y priorizar

áreas aptas para el cultivo de cacao como una alternativa viable, sostenible y pertinente para la sustitución de cultivos ilícitos. El cacao no solo tiene valor comercial, sino que también representa una oportunidad para el desarrollo rural con enfoque agroecológico y para la consolidación de procesos de paz territorial.

Este trabajo se fundamenta metodológicamente en el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG), herramientas que permiten integrar variables ecológicas (suelos, clima, pendiente), factores de accesibilidad (cercanía a vías y centros poblados) y aspectos socioeconómicos, generando un análisis espacial robusto que puede ser utilizado por instituciones públicas, organizaciones sociales y cooperación internacional en la formulación de políticas y estrategias de desarrollo alternativo.

Además, la experiencia reciente con proyectos de sustitución basados en cultivos como *sacha inchi* y *chontaduro* ha demostrado que las alternativas productivas requieren una mayor articulación institucional, acompañamiento técnico, seguimiento comunitario y adaptación a las particularidades culturales del territorio (Mi Putumayo, 2024; La Silla Vacía, 2025). Por tanto, esta investigación no solo se justifica desde un interés académico y técnico, sino también desde un compromiso ético con las comunidades campesinas, indígenas y afrodescendientes que habitan una de las regiones más golpeadas por el conflicto armado, la economía ilegal y el abandono estatal (El País, 2025).

En suma, se espera que los resultados de este estudio contribuyan a fortalecer los procesos de planificación participativa y gestión territorial, brindando insumos técnicos valiosos para diseñar intervenciones más eficaces, sostenibles y contextualizadas que promuevan la sustitución de economías ilícitas por alternativas agroecológicas basadas en el cacao.

## 1.1 Descripción del área problema

A El municipio de Puerto Asís, ubicado en el suroccidente del departamento del Putumayo, forma parte del piedemonte amazónico colombiano, una región caracterizada por su alta biodiversidad, importancia geoestratégica y condiciones ambientales aptas para el desarrollo agrícola. Sin embargo, este territorio ha sido históricamente afectado por dinámicas de economías ilícitas, siendo uno de los principales enclaves de cultivo de hoja de coca en el país (UNODC, 2022; FCDS, 2023).

La economía cocalera en Puerto Asís ha estado vinculada a factores estructurales como la pobreza rural, la débil presencia institucional, la desigualdad en la tenencia de la tierra y la falta de acceso a servicios básicos e infraestructura. Esto ha generado una fuerte dependencia de la población hacia el cultivo de coca como medio de subsistencia (FIP, 2020). A pesar de los esfuerzos por impulsar estrategias de sustitución —como el PNIS y proyectos de desarrollo alternativo con cultivos como sachá inchi o chontaduro—, las iniciativas han presentado limitaciones técnicas, falta de articulación institucional y escaso impacto territorial sostenible (La Silla Vacía, 2025; Mi Putumayo, 2024).

Actualmente, el municipio enfrenta una situación compleja donde coexisten procesos de erradicación forzada, nuevas dinámicas de violencia, reconfiguración de grupos armados, presión sobre áreas protegidas y una creciente fragmentación del tejido social. En este contexto, la necesidad de identificar alternativas productivas sostenibles cobra relevancia, particularmente aquellas basadas en el uso racional del suelo, la protección ambiental y la viabilidad económica para las comunidades locales.

Desde una perspectiva territorial y técnica, el problema central se encuentra en la

ausencia de una planificación espacial integral que permita orientar procesos de sustitución de cultivos ilícitos con base en las condiciones agroecológicas del territorio. Existe una brecha significativa entre la oferta institucional y la realidad biofísica y sociocultural del territorio, lo que limita la efectividad de los programas implementados. Por ejemplo, no se cuenta actualmente con una cartografía de aptitud para el cultivo de cacao que permita focalizar esfuerzos ni con un análisis espacial que incorpore variables ecológicas, de accesibilidad y socioeconómicas de manera integrada.

A nivel nacional, si bien existen estudios sobre zonificación agroecológica y priorización productiva, pocos han abordado de manera específica el caso de Puerto Asís desde una perspectiva multivariable y apoyada en herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG). A nivel internacional, la zonificación agroecológica ha demostrado ser una herramienta efectiva para orientar procesos de sustitución y reconversión productiva en contextos posconflicto o con economías ilícitas, como en Perú o Bolivia (FAO, 2020), lo que resalta la necesidad de aplicar este enfoque de forma localizada.

La presente investigación se ubica en el periodo 2023–2025 y se enfoca territorialmente en Puerto Asís, pero su diseño metodológico es replicable en otros municipios del piedemonte amazónico. El ambiente en el que se desarrolla incluye zonas rurales dispersas, con baja conectividad vial, alta diversidad étnica (campesina, indígena y afrodescendiente) y una coexistencia entre actividades lícitas e ilícitas, lo que añade complejidad a los procesos de sustitución.

Por tanto, el problema no se limita al cultivo ilícito per se, sino a la falta de información técnica para planificar su reemplazo efectivo, sostenible y territorialmente pertinente. De ahí que la zonificación agroecológica orientada al cultivo de cacao —como

alternativa viable— y su priorización espacial bajo criterios integrales constituya un aporte innovador tanto en lo técnico como en lo estratégico.

## **1.2 Formulación del problema**

El municipio de Puerto Asís, Putumayo, continúa siendo uno de los principales territorios afectados por la presencia persistente de cultivos de uso ilícito, a pesar de la implementación de múltiples programas estatales e iniciativas de desarrollo alternativo. Estas intervenciones, aunque bien intencionadas, han carecido de una base técnica sólida que permita orientar la sustitución de cultivos a partir de criterios agroecológicos, sociales y territoriales ajustados a las realidades locales.

La falta de estudios que integren análisis espacial, condiciones biofísicas y variables socioeconómicas ha impedido que las estrategias de sustitución se enfoquen en zonas realmente aptas para actividades agrícolas sostenibles. En este sentido, el cultivo de cacao ha sido promovido como una alternativa viable y de bajo riesgo, con potencial de generar ingresos lícitos, conservar el ambiente y fomentar la construcción de paz. Sin embargo, su implementación requiere de una adecuada planificación territorial que considere la aptitud del suelo, el clima, la accesibilidad y la conectividad con centros poblados y mercados.

En este contexto, surge la necesidad de resolver una pregunta central que oriente la presente investigación:

¿Cuáles son las zonas del municipio de Puerto Asís que presentan condiciones agroecológicas, socioeconómicas y de accesibilidad favorables para la sustitución de cultivos de uso ilícito por el cultivo de cacao, identificadas mediante un análisis espacial basado en herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG)?

Esta pregunta delimita claramente el objeto de estudio, es coherente con el objetivo

general y es factible de resolver mediante una investigación científica aplicada, basada en datos espaciales, metodologías de análisis multicriterio y procesos de zonificación agroecológica

### **1.3 Antecedentes**

Diversos estudios han abordado la problemática de los cultivos de uso ilícito en el departamento del Putumayo, particularmente en Puerto Asís, desde enfoques sociales, económicos y de seguridad. Fundación Ideas para la Paz (2020) analizó los factores territoriales que explican la persistencia de la economía cocalera en la región, concluyendo que las políticas de sustitución han sido poco eficaces debido a su baja articulación institucional y falta de enfoque diferencial. Este trabajo es relevante porque evidencia que, sin un diagnóstico territorial detallado, los procesos de sustitución tienden a fracasar, lo cual justifica la necesidad de una propuesta que incluya variables ecológicas y espaciales para orientar una intervención más efectiva.

La aparición del cacao como método de transición de cultivos ilícitos por parte de la agencia de los estados unidos para el desarrollo internacional en su programa “Cacao por la paz (Sierra,2016), facilito el reintegro de los excombatientes del grupo armado FARC a la vida en sociedad en donde se pueden resocializar apoyando el crecimiento económico de la región y siendo motores impulsores de la seguridad alimentaria de las regiones.

Observatorio de la Amazonía – FCDS (2023) desarrolló microfichas georreferenciadas para mapear la expansión de cultivos ilícitos en la Amazonía colombiana. El estudio identificó a Puerto Asís como uno de los municipios con mayor concentración de cultivos de coca, resaltando la urgencia de enfoques de planificación espacial que articulen información ambiental con decisiones de política pública. Este antecedente respalda la

importancia de integrar herramientas SIG en estrategias de reconversión productiva.

UNODC (2022), a través del sistema de monitoreo de cultivos ilícitos, proporciona información cuantitativa sobre las áreas sembradas y erradicadas en Colombia. Sin embargo, esta información no integra criterios de aptitud agroecológica ni propone alternativas productivas específicas. De ahí la pertinencia de avanzar en investigaciones que vinculen dicha información con modelos de análisis espacial aplicados a cultivos legales viables como el cacao.

En el plano local, Mi Putumayo (2024) documentó experiencias de sustitución de cultivos ilícitos por chontaduro y sachá inchi, impulsadas por entidades nacionales e internacionales. Aunque el enfoque comunitario fue un avance significativo, el informe señala deficiencias en la identificación previa de zonas adecuadas para la siembra, así como limitaciones logísticas y de comercialización. Esto refuerza la necesidad de contar con estudios técnicos que orienten territorialmente la elección de cultivos alternativos.

En cuanto al uso de Sistemas de Información Geográfica para zonificación agroecológica, FAO (2020) elaboró una guía metodológica que destaca el valor de los SIG para planificar el uso del suelo y mejorar la toma de decisiones agronómicas. En Perú y Bolivia, este tipo de metodologías han sido empleadas exitosamente en políticas de sustitución, lo cual valida la propuesta de este estudio.

Desde una perspectiva académica, González Orozco et al. (2022) desarrollaron una regionalización biogeográfica del cacao en Colombia a partir de datos de 5 000 fincas y variables climáticas y edáficas, delimitando 54 provincias agroecológicas. Este estudio es clave para entender la distribución ecológica del cacao y plantea una base técnica que puede ser adaptada a escalas municipales como Puerto Asís. En otro estudio, González Orozco et al.

(2023) diseñaron mapas agroclimáticos para el departamento de Arauca utilizando datos de 1 538 fincas y diversidad arbórea, permitiendo definir nueve clústeres agroclimáticos. Estos trabajos validan metodologías replicables basadas en SIG para el ordenamiento agroecológico.

Rondano Gómez y Yaruro Espinosa (2023) aplicaron análisis multicriterio y álgebra de mapas en Carmen de Chucurí (Santander) para identificar zonas aptas para el cultivo de cacao en sistemas agroforestales. Encontraron que el 31 % del área tenía alta aptitud. Su estudio demuestra cómo una metodología basada en SIG permite orientar estratégicamente la reconversión productiva, experiencia comparable a lo que se espera lograr en Puerto Asís.

Escobar Ramírez et al. (2022) evaluaron el rendimiento de dos clones de cacao en un bosque seco tropical en Colombia, identificando condiciones climáticas óptimas para cada variedad. Este tipo de investigaciones aporta elementos técnicos para ajustar la aptitud del cultivo según condiciones locales, un componente clave para una zonificación agroecológica.

Finalmente, Vera Vélez et al. (2019) estudiaron los efectos de la diversificación agroforestal en la Amazonía ecuatoriana, mostrando cómo los sistemas agroforestales pueden mejorar la resiliencia y biodiversidad en territorios históricamente degradados. Esto refuerza la pertinencia del cacao como cultivo de sustitución no solo económico, sino también ambientalmente restaurador.

Estos antecedentes muestran un panorama diverso y consistente que respalda la necesidad de aplicar análisis espaciales con enfoque agroecológico para priorizar territorios en procesos de sustitución. La presente investigación, al integrar estos enfoques en un contexto de frontera como Puerto Asís, aporta innovación metodológica y pertinencia territorial

## 2. Justificación

La elección del presente proyecto surge de un interés académico, profesional y ético por aportar soluciones territoriales sostenibles a una problemática estructural que ha afectado por décadas al municipio de Puerto Asís: la persistente presencia de cultivos de uso ilícito. Desde la perspectiva del investigador, esta propuesta representa una oportunidad para integrar conocimientos adquiridos en la especialización en Sistemas de Información Geográfica (SIG) con las demandas reales del territorio, aplicando herramientas analíticas y metodológicas para generar información útil, precisa y contextualizada.

A nivel institucional y regional, la investigación es pertinente porque contribuye a los esfuerzos del Estado colombiano, la cooperación internacional y las organizaciones sociales por consolidar procesos de sustitución voluntaria, desarrollo rural y construcción de paz en zonas afectadas por el conflicto armado. Asimismo, se alinea con los compromisos internacionales asumidos por Colombia en materia de desarrollo sostenible, derechos territoriales y transición hacia economías lícitas en regiones cocaleras.

Desde el punto de vista académico, este estudio permite profundizar en el enfoque de la zonificación agroecológica y su aplicación mediante SIG, una herramienta poco utilizada en estudios de sustitución de cultivos en el contexto amazónico colombiano. La motivación, por tanto, también es metodológica: se busca demostrar cómo el análisis espacial puede ser un insumo valioso en la toma de decisiones para la planificación del uso del suelo y la reconversión productiva.

Los resultados de esta investigación serán útiles en múltiples niveles. Para la comunidad local, representa una posibilidad de contar con información técnica confiable que oriente la

implementación de proyectos productivos como el cultivo de cacao, basados en criterios de aptitud ecológica, viabilidad económica y cercanía a mercados. Para las instituciones públicas —como ministerios, alcaldías, agencias territoriales, Parques Nacionales Naturales o entidades como la UNODC—, el estudio ofrece una base geoespacial sólida para focalizar intervenciones, priorizar inversiones y diseñar políticas de desarrollo rural con enfoque diferencial.

Asimismo, la investigación fortalecerá las capacidades técnicas locales al poner a disposición una base de datos espacial, cartografía temática y criterios técnicos reproducibles en otros territorios con características similares. En el plano académico, el estudio puede ser referencia para nuevas investigaciones en el área de ordenamiento territorial, planificación agrícola, análisis multicriterio y sustitución de economías ilícitas en regiones de frontera.

Finalmente, su utilidad también se relaciona con la posibilidad de replicar el modelo metodológico propuesto —análisis de variables ecológicas, socioeconómicas y de accesibilidad mediante SIG— en otros municipios del Putumayo, del piedemonte amazónico o del Caribe colombiano, aportando así a la toma de decisiones basadas en evidencia.

El principal aporte innovador de este trabajo radica en la articulación de enfoques agroecológicos, productivos y espaciales en un territorio que ha sido tradicionalmente abordado desde ópticas exclusivamente de seguridad o sociales. La propuesta se destaca por aplicar herramientas SIG y técnicas de análisis multicriterio para priorizar zonas de intervención en procesos de sustitución de cultivos ilícitos, algo poco desarrollado hasta ahora en el contexto de Puerto Asís.

Desde el punto de vista conceptual, se introduce la zonificación agroecológica no solo como

una técnica de evaluación productiva, sino como una herramienta estratégica de transición territorial hacia economías sostenibles y lícitas. En lo metodológico, se plantea un modelo replicable de análisis espacial que integra múltiples variables —climáticas, edáficas, topográficas, de uso del suelo y de conectividad— para definir criterios objetivos de aptitud agrícola, superando abordajes subjetivos o desarticulados.

La investigación también llena vacíos en el conocimiento aplicado al contexto amazónico colombiano, donde persiste una alta informalidad en la toma de decisiones sobre el uso del suelo. Además, genera nuevo conocimiento georreferenciado, contribuye a la estandarización de procedimientos técnicos y ofrece un insumo directo para procesos de planeación territorial participativa.

En resumen, esta investigación representa un aporte concreto y pertinente a la gestión del territorio, a la implementación de políticas de sustitución sostenible y a la consolidación de estrategias productivas con enfoque diferencial y agroecológico.

### **3. Objetivos**

#### **3.1. Objetivo general**

Identificar las zonas del municipio de Puerto Asís (Putumayo) que presentan condiciones agroecológicas, socioeconómicas y de accesibilidad favorables para la sustitución de cultivos de uso ilícito por el cultivo de cacao, mediante un análisis espacial basado en herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG).

### 3.2. Objetivos específicos

- Delimitar las zonas agroecológicamente aptas para el cultivo de cacao en el municipio de Puerto Asís, a partir del análisis integrado de variables ecológicas como clima, suelo, relieve y cobertura del suelo.
- Establecer criterios de priorización espacial que integren factores de accesibilidad, presencia de población rural y conectividad con centros poblados, para jerarquizar las áreas óptimas para implementar proyectos de cultivo de cacao.
- Desarrollar una base de datos geográfica y una serie de mapas temáticos que sirvan como insumos técnicos para la planificación territorial y el diseño de estrategias sostenibles de sustitución de cultivos ilícitos.

#### 4. Marco teórico

El presente estudio se enmarca en una problemática compleja de carácter socioambiental y territorial: la persistencia de cultivos de uso ilícito en Puerto Asís, Putumayo, y la necesidad de identificar alternativas productivas viables para su sustitución. Para abordar esta situación, se parte de una perspectiva teórica interdisciplinaria que integra conceptos de agroecología, desarrollo rural sostenible, ordenamiento territorial y análisis espacial, con base en el uso de herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG).

La zonificación agroecológica es una herramienta técnica para la planificación del uso del suelo con base en criterios biofísicos, climáticos y socioeconómicos. De acuerdo con la FAO (2020), su propósito es identificar las áreas más aptas para el cultivo de especies agrícolas específicas, considerando su potencial productivo y la sostenibilidad ecológica. Este enfoque permite evaluar factores como el tipo de suelo, temperatura, precipitación, pendiente y disponibilidad de agua, integrándolos para clasificar la aptitud de una zona determinada. En el presente estudio, este enfoque se adapta al contexto del cacao, cultivo que requiere condiciones agroclimáticas específicas para alcanzar un rendimiento óptimo.

La zonificación agroecológica también cumple una función estratégica en contextos de transición productiva y sustitución de economías ilícitas, al ofrecer información técnica clave para la toma de decisiones. Diversos estudios han demostrado su utilidad para orientar políticas agrícolas en zonas rurales vulnerables (Rondano Gómez & Yaruro Espinosa, 2023; González Orozco et al., 2022).

Por otro lado la sustitución de cultivos ilícitos es una estrategia promovida tanto por el Estado colombiano como por organismos internacionales para enfrentar los impactos

sociales, económicos y ambientales del narcotráfico. El Programa Nacional Integral de Sustitución de Cultivos de Uso Ilícito (PNIS), creado mediante el Acuerdo de Paz (2016), plantea la necesidad de promover alternativas productivas concertadas con las comunidades, con enfoque territorial y sostenibilidad ambiental (Decreto 1987 de 2017).

No obstante, múltiples investigaciones han señalado que estas estrategias han fracasado cuando no se articulan con procesos de planificación espacial y acompañamiento técnico (FIP, 2020; La Silla Vacía, 2025). De ahí que la presente investigación busque llenar una brecha metodológica relevante: la falta de análisis territoriales detallados que integren variables ecológicas, de accesibilidad y socioeconómicas, para focalizar con mayor efectividad las acciones de sustitución.

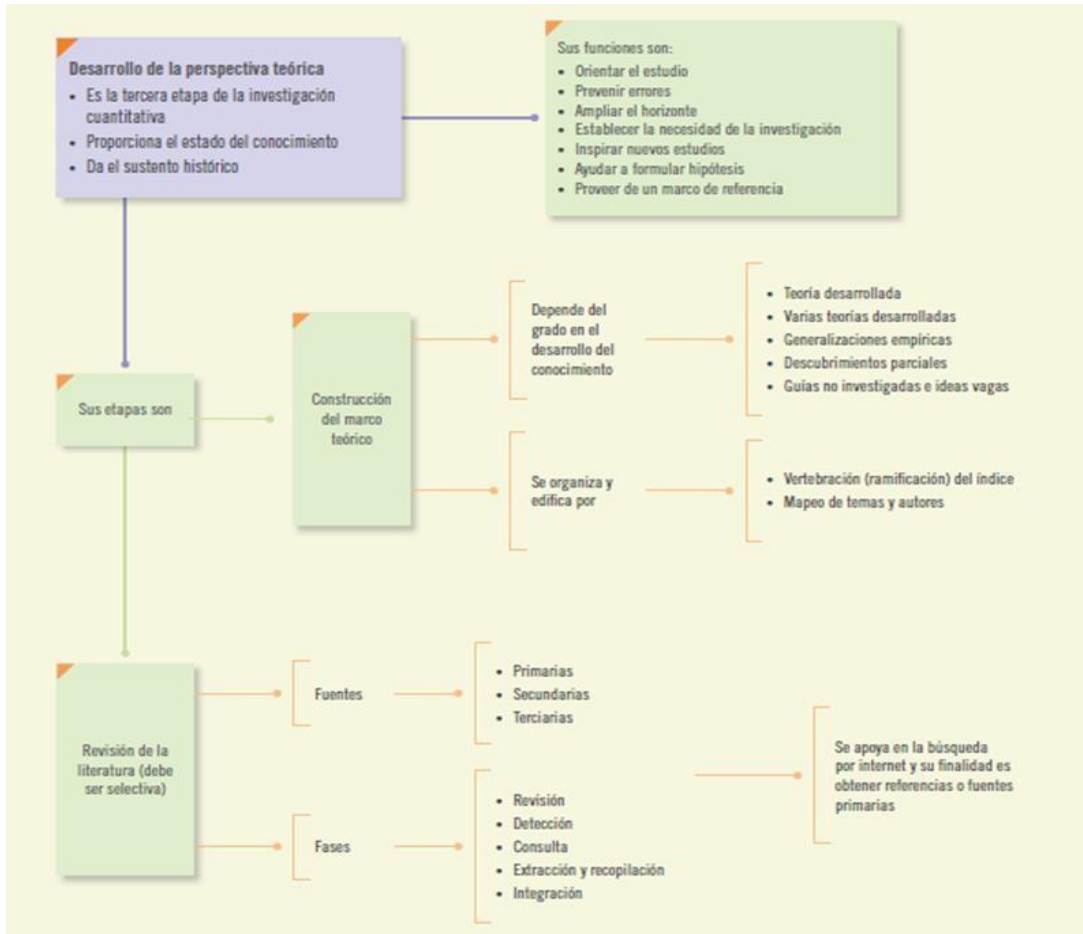
El cacao es considerado un cultivo estratégico para procesos de sustitución, por su bajo impacto ambiental, capacidad de adaptarse a sistemas agroforestales y potencial económico. Es un cultivo perenne que mejora la cobertura vegetal, contribuye al control de la erosión y permite diversificar los ingresos campesinos (Escobar Ramírez et al., 2022; Vera Vélez et al., 2019). Además, existen experiencias exitosas de cacao en zonas con antecedentes de cultivos ilícitos, como en Caquetá, Guaviare y algunas zonas del Caribe, lo que demuestra su viabilidad como instrumento de transición productiva y restauración ambiental.

Desde el punto de vista técnico, el cacao tiene requerimientos agroclimáticos precisos, lo que justifica su evaluación mediante criterios objetivos de aptitud del suelo y condiciones ambientales (González Orozco et al., 2022). Esto permite que la zonificación agroecológica no solo sea posible, sino necesaria para orientar esfuerzos públicos y privados hacia su implementación.

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) constituyen una herramienta fundamental en la planificación y análisis territorial. Permiten integrar múltiples capas de información geoespacial, analizar patrones, realizar simulaciones y modelar escenarios de uso del suelo (Burrough y McDonnell, 1998). En investigaciones agrarias y ambientales, los SIG han sido ampliamente utilizados para estudios de aptitud agrícola, evaluación de riesgos, priorización territorial y toma de decisiones basadas en evidencia.

La integración de SIG con metodologías como el análisis multicriterio (AMC) permite ponderar variables ecológicas, económicas y sociales de forma conjunta, facilitando la construcción de modelos espaciales para la identificación de zonas prioritarias (Malczewski, 1999). En el presente estudio, esta herramienta es central para delimitar áreas de intervención en función de su aptitud para el cacao, su proximidad a centros poblados y su superposición con zonas de cultivos ilícitos.

**Figura 1**  
*Desarrollo de la perspectiva teórica*



Fuente: (Hernández, et al., 2010)

**Tabla 1***Papel del marco teórico en el estudio cuantitativo*

Antes de recolectar los datos	Después de recolectar los datos
Aprender más de la historia, origen y alcance del problema de investigación.	Explicar diferencias y similitudes entre los resultados y el conocimiento existente.
Conocer los métodos aplicados para estudiar el problema específico.	Analizar formas de interpretar los datos.
Saber que respuestas existen para las preguntas de investigación.	Ubicar resultados y conclusiones dentro del conocimiento existente.
Identificar variables que deben ser medidas y observadas y establecer los métodos.	Construir teoría y explicaciones.
Decidir la mejor manera de recolectar los datos.	Desarrollar nuevas preguntas de investigación e hipótesis.
Resolver cómo analizar los datos.	
Refinar el problema y sugerir hipótesis.	
Justificar el estudio.	

Fuente: Adaptada (Hernández et al., 2010)

Para la construcción del marco teórico, Hernández et al. (2010) recomiendan los siguientes métodos:

- Método de mapeo: se elabora primero un mapa conceptual para organizar el marco teórico; luego se profundiza en la revisión de la literatura y el desarrollo del marco teórico.

- Método de índices: se desarrolló un índice tentativo global que se afinando hasta volverlo específico.

#### **4.1. Referente normativo y legal**

El presente proyecto se fundamenta en un conjunto de normas constitucionales, legales y reglamentarias que enmarcan el desarrollo rural, la planificación territorial, la sustitución de cultivos de uso ilícito y el uso de tecnologías como los Sistemas de Información Geográfica (SIG) para la toma de decisiones públicas.

##### ***4.1.1. Constitución Política de Colombia (1991)***

La Constitución consagra, en su artículo 65, que la producción de alimentos gozará de la especial protección del Estado, y en el artículo 66, el apoyo estatal a la producción agropecuaria. De igual manera, el artículo 79 establece el derecho de todas las personas a gozar de un ambiente sano y el deber del Estado de proteger la diversidad e integridad del ambiente. Por otro lado, el artículo 332 señala que el Estado es propietario del subsuelo y de los recursos naturales no renovables, lo que respalda las competencias sobre el ordenamiento ambiental del territorio.

##### ***4.1.2. Ley 160 de 1994***

Esta ley crea el Sistema Nacional de Reforma Agraria y Desarrollo Rural Campesino. En su articulado promueve el acceso a la tierra y a medios de producción a población rural vulnerable, siendo clave para sustentar procesos de sustitución de economías ilícitas por proyectos agroecológicos como el cultivo de cacao.

#### ***4.1.3. Ley 99 de 1993***

Establece los principios de la política ambiental y crea el Ministerio del Medio Ambiente. Define el principio de desarrollo sostenible como criterio rector para la planificación y uso del suelo rural. Su artículo 1 resalta la necesidad de armonizar el crecimiento económico con la conservación de los ecosistemas, principio que orienta el enfoque agroecológico del presente estudio.

#### ***4.1.4. Decreto 1987 de 2017 (PNIS)***

Reglamenta el Programa Nacional Integral de Sustitución de Cultivos de Uso Ilícito (PNIS), como parte del punto 4 del Acuerdo Final de Paz (2016). Este decreto establece lineamientos técnicos y sociales para implementar procesos de sustitución concertada, priorizando territorios con alta concentración de cultivos ilícitos, como el municipio de Puerto Asís. El proyecto que aquí se propone puede aportar elementos técnicos para focalizar y priorizar la implementación territorial del PNIS.

#### ***4.1.5. Decreto 1076 de 2015 (Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible)***

Compila la normativa ambiental del país e incluye disposiciones para el ordenamiento ambiental del territorio, zonificación ambiental y herramientas de análisis técnico para la toma de decisiones. Este decreto reconoce el papel de las herramientas SIG para el análisis del territorio en procesos de planificación y gestión ambiental.

#### ***4.1.5. Ley 1955 de 2019 (Plan Nacional de Desarrollo 2018–2022)***

Incluye la implementación de los Planes de Desarrollo con Enfoque Territorial

(PDET) y el fortalecimiento del PNIS. Establece la necesidad de articular acciones interinstitucionales para el desarrollo rural, reconociendo la sustitución de cultivos como una oportunidad para promover proyectos productivos sostenibles, como el cacao.

#### ***4.1.6. Acuerdo Final para la Terminación del Conflicto y la Construcción de una Paz Estable y Duradera (2016)***

Particularmente el Punto 4: “Solución al problema de las drogas ilícitas”. Este acuerdo establece el compromiso del Estado con la transformación estructural de territorios afectados por cultivos ilícitos, mediante alternativas productivas, planes participativos y protección del ambiente. Este marco legitima la relevancia del presente estudio como insumo técnico para la implementación del posacuerdo.

#### ***4.1.7. Directrices FAO sobre planificación del uso sostenible del suelo (FAO, 1993; 2020)***

Aunque no son normas nacionales, estas directrices internacionales han sido acogidas por Colombia en sus políticas públicas. Proponen criterios para evaluar la aptitud del suelo con fines agrícolas de forma sostenible, principios que sustentan la metodología de zonificación agroecológica adoptada en esta investigación.

## 5. Metodología

### 5.1. Enfoque metodológico

- Este estudio adopta un enfoque cuantitativo de tipo descriptivo y explicativo, sustentado en el análisis espacial de datos geográficos mediante herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y técnicas de evaluación multicriterio. La metodología se orienta a generar conocimiento aplicado que permita identificar y priorizar zonas aptas para la sustitución de cultivos de uso ilícito por cacao en el municipio de Puerto Asís, Putumayo.
- El diseño metodológico se estructura por fases en función del cumplimiento de los objetivos específicos, e integra una serie de etapas necesarias para la delimitación precisa de la zona idónea para la sustitución de los cultivos ilícitos por cacao, estas fases son las siguientes recolección, procesamiento, análisis y representación espacial de variables ecológicas, socioeconómicas y de accesibilidad.

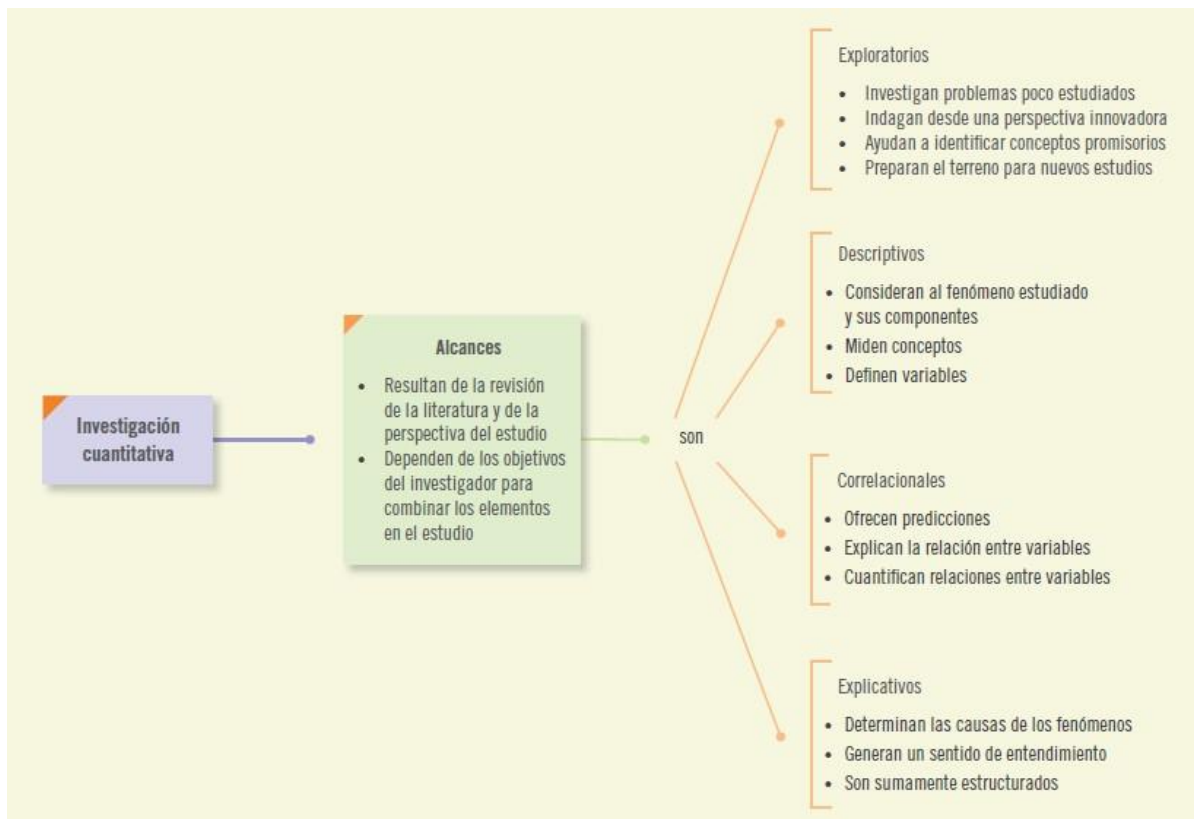
### 5.2. Tipo de estudio

Este proyecto se clasifica como un estudio cuantitativo de tipo descriptivo y explicativo. Es descriptivo porque permite caracterizar el territorio del municipio de Puerto Asís a partir de variables ecológicas, sociales y de accesibilidad, generando productos como mapas temáticos, bases de datos y análisis espaciales que explican las condiciones actuales del territorio. Asimismo, es explicativo, ya que busca establecer relaciones entre las variables de aptitud agroecológica, presencia de cultivos ilícitos y accesibilidad, para fundamentar la selección y priorización de zonas con mayor viabilidad para la implementación del cultivo de cacao como estrategia de sustitución.

Este enfoque metodológico permite no solo representar el estado actual del problema, sino también proponer soluciones basadas en evidencia geoespacial, contribuyendo a la planificación territorial y la toma de decisiones en contextos rurales afectados por economías ilícitas.

## Figura 2

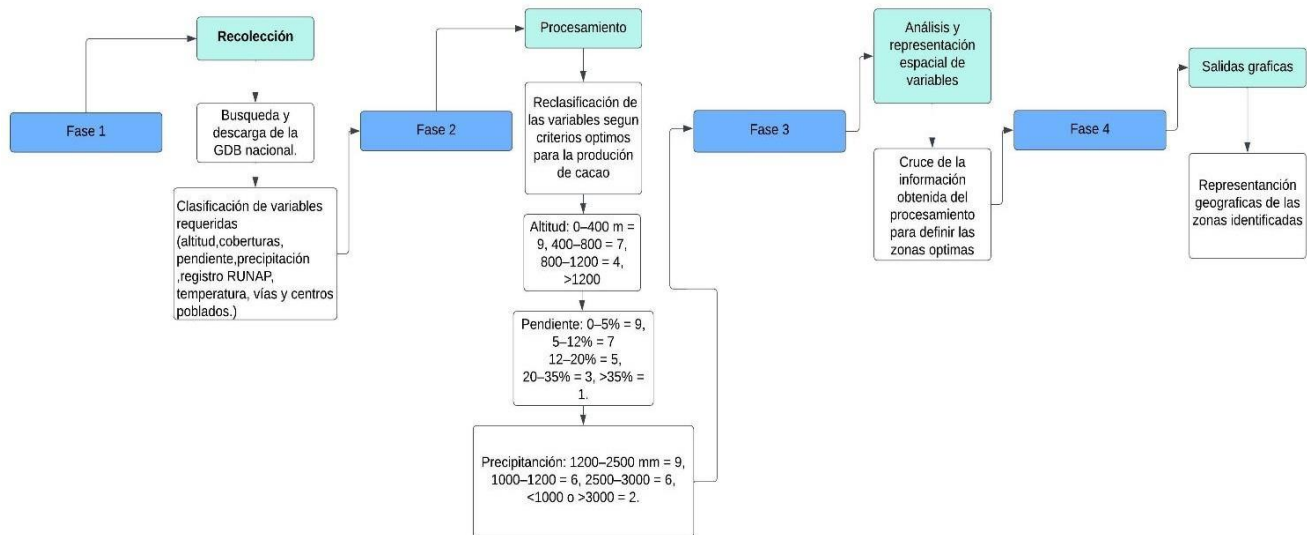
### *Tipos de estudios cuantitativos*



Fuente: (Hernández et al., 2010)

### 5.3. Procedimiento

**Figura 3**  
*Metodología.*



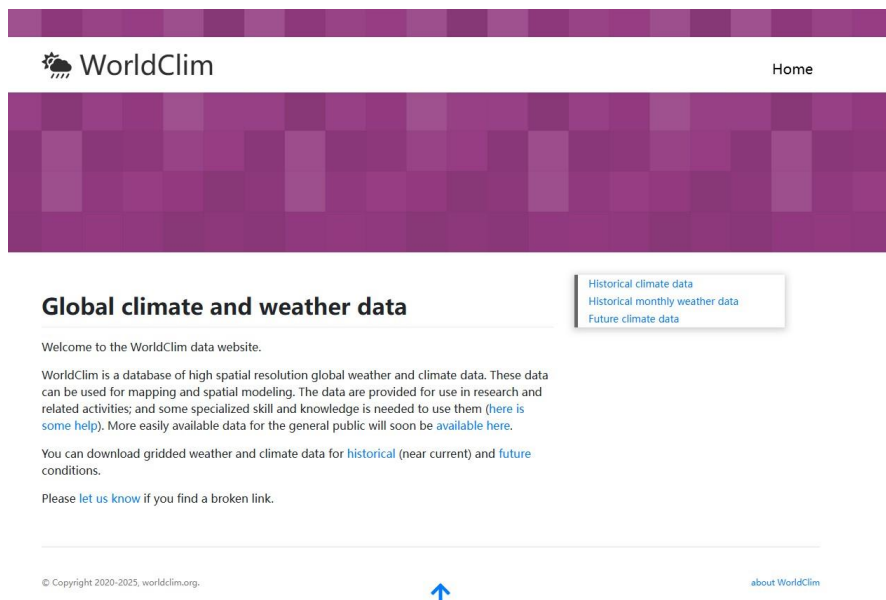
Fuente: Elaboración propia

#### 5.3.1. Fase 1. Recolección de información

Se utilizarán únicamente datos públicos y fuentes secundarias, por lo tanto, el estudio no implica intervención directa sobre comunidades o ecosistemas. No obstante, se tendrán en cuenta criterios éticos de manejo responsable de información territorial, especialmente en áreas de conflicto y alta sensibilidad social.

Inicialmente se genera el análisis bibliográfico, consulta y descarga de las bases de datos geográficos nacionales, adicionalmente se seleccionan las variables agroecológicas como: temperatura media, precipitación anual, tipo de suelo, pendiente, altitud y uso actual del suelo y los criterios requeridos para el cultivo de cacao según FAO, ICA, Corpoica, estudios científicos y a través de la consulta de datos de las siguientes plataformas WorldClim la cual nos suministra la información climatológica del territorio.

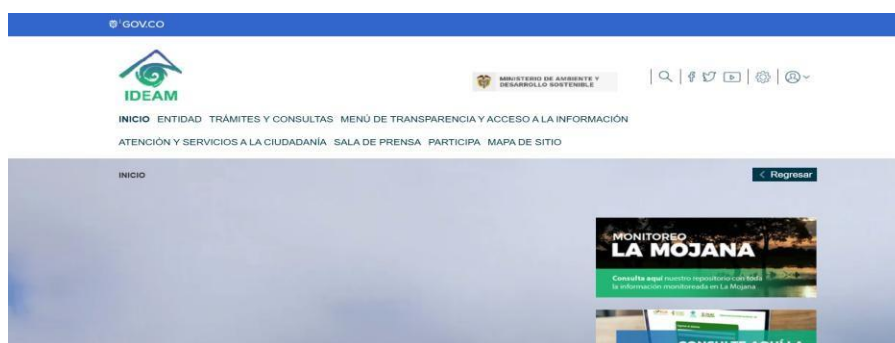
**Figura 4**  
*Plataforma WordClim.*



Fuente: WordClim

Adicionalmente se revisa la plataforma del IDEAM para definir las condiciones del suelo y tipos presentes en el territorio.

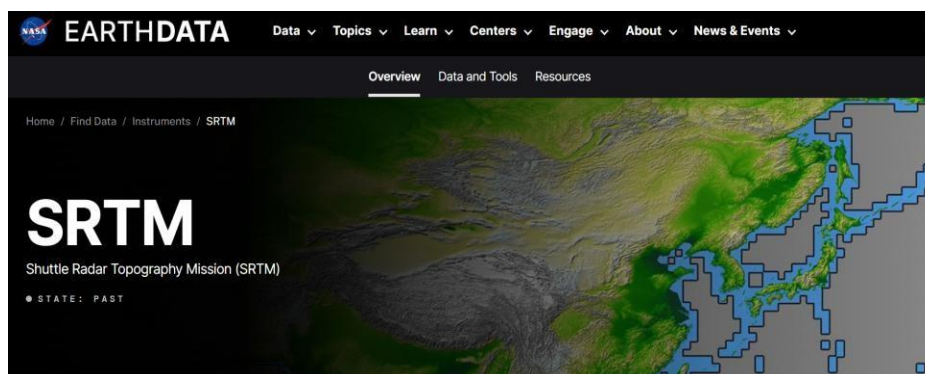
**Figura 5**  
*Plataforma del IDEAM*



Fuente: IDEAM

Seguidamente se utiliza la plataforma SRTM para obtener los rasters de pendiente/DEM.

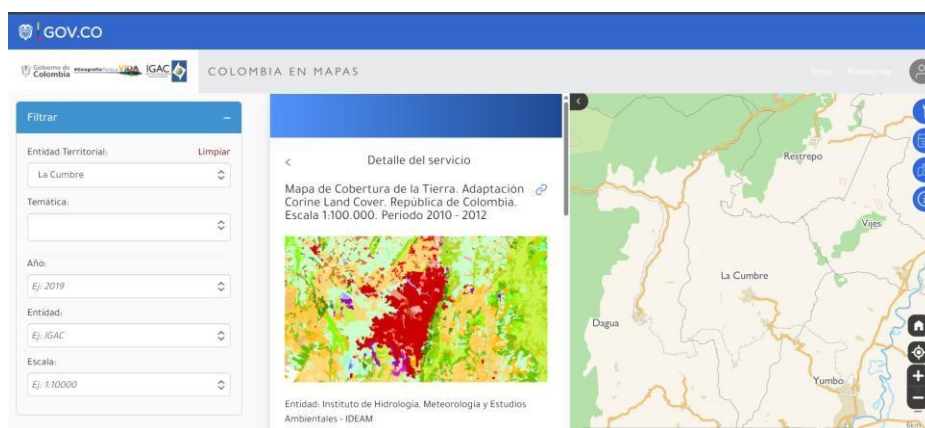
**Figura 6**  
*Plataforma del STRM*



Fuente: NASA

Finalmente se obtienen los datos relacionados a las coberturas por medio de la plataforma Colombia en mapas del Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

**Figura 7**  
*Plataforma del Colombia en mapas*



Fuente: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Finalmente se genera un proceso de estandarización de formatos según el requerimiento (SHP, TIF, CSV).

### **5.3.2. Fase 2. Procesamiento de la zonificación agroecológica del cultivo de cacao**

Inicialmente para la clasificación de aptitud cada variable será reclasificada en rangos de aptitud (alta, media, baja, no apta), con base en requerimientos técnicos del cultivo

de cacao definidos por la FAO (2020) y estudios nacionales (González Orozco et al., 2022).

Así pues, para el modelo de aptitud se realizará un análisis multicriterio ponderado (Weighted Overlay) en ambiente SIG, asignando pesos según la importancia relativa de cada variable para el cultivo en donde como primer paso se descargan los datos de polígonos georreferenciados de cultivos ilícitos provenientes de SIMCI, UNODC o FCDS. Tras esto se utiliza la técnica de superposición (intersección espacial) entre la capa de zonas aptas y la capa de cultivos ilícitos, adicionalmente se realiza el análisis cuantitativo a partir del cálculo de hectáreas coincidentes y clasificación por niveles de aptitud, seguido de esto se genera un mapa de coincidencias y cuadro de áreas en donde se genera la identificación de zonas de transición con potencial agroecológico y presencia de cultivos ilícitos.

### **5.3.3. Fase 3. Análisis y representación espacial de variables**

Con la finalidad de determinar los puntos en que se puede realizar la transición de los cultivos ilícitos al cacao se deben cargar de datos sobre cultivos ilícitos (SIMCI, UNODC, FCDS). Y tras esto generar la intersección espacial de zonas y se cruzan con las siguientes variables.

**Variables de accesibilidad:** para la determinación de esta es necesario determinar las distancias a vías primarias/secundarias, cercanía a centros poblados y núcleos productivos, tiempo estimado de desplazamiento (fricción).

**Distancia a vías/puertos/centros de acopio/mercado:** Los tiempos de transporte influyen en el costo total de producción y viabilidad comercial del cacao para esto se emplea la herramienta *Euclidean Distance* (desde roads layer o centros poblados). Reclassificar: menor distancia = mayor aptitud. Tomando como referencia el tiempo de viaje estimado integrando pendiente con velocidad.

**Accesibilidad (Cost Distance / Travel time):** Se determina la estimación realista de

acceso usando red de caminos y pendiente usando la herramienta *Cost Distance* y *Cost Path*, definiendo el *surface cost* basado en la pendiente y tipo de camino.

**Proximidad a asentamientos:** Permite determinar la disponibilidad de fuerza laboral lo que influye en la factibilidad social de la transición de cultivos ilícitos a cultivos de cacao usando la herramienta *Euclidean Distance* desde los centroides poblacionales y se puede combinar con la densidad poblacional (*Kernel Density*).

**Distancia a cuerpos de agua (fuente hídrica):** El cacao requiere de acceso a fuentes hídricas debido a la necesidad de este recurso para el riego o soporte en sequía. Y para esto se emplea la herramienta *Euclidean Distance* desde ríos/lagunas y se reclasifica por proximidad favorable.

**Variables socioeconómicas:** (si hay disponibilidad): Se determina la densidad rural, presencia institucional, nivel de asociatividad, conflictividad, para esto se aplicará un nuevo análisis multicriterio ponderado integrando la zonificación agroecológica con las variables de accesibilidad y factores sociales, mediante técnicas como AHP o expert weighting en caso de contar con la información. Para esto se emplean criterios de priorización definidas por: zonas aptas + cercanía a vías/poblados + baja conflictividad + presencia institucional, finalmente se plasma en un Mapa de priorización espacial de áreas estratégicas para sustitución con cacao.

**Elevación (DEM):** En esta variable se determina la altura sobre el nivel del mar en que el cacao suele desarrollarse. Para la correcta determinación de la elevación adecuada se implementa la fuente SRTM 30m, ALOS, DEM nacional y se implementa la herramienta de *ArcGIS Project Raster* → *Fill* (si hay sinks) tras esto se emplea el *Raster Calculator* y el *Extract by Mask*. Así mismo se considera el límite de altitud ideal y se reclasifica en bandas:

0–400 m = muy apto, 400–800 m = apto, >800 m = menos apto usando la herramienta

*Reclassify*.

**Pendiente (slope):** En esta variable se considera las pendientes pronunciadas lo que tiene incidencia directa en la dificultad en que el cultivo de desarrolla, para el cacao es importante tomar en cuenta esto debido a la tolerancia de pendientes moderadas de dicho cultivo.

Para la determinación de la pendiente se implementa la herramienta del ArcGIS *Terrain* → *Slope del Spatial Analyst* y se genera una reclasificación en clases (0–8% muy apto, 8–20% apto, >20% poco apto) Y se usa *Resample* para igualar resolución.

**Aspecto (aspect):** Esta variable define la orientación de la pendiente, su relación con la radiación y la humedad, para la determinación de esta variable se usa la herramienta *Aspect (Spatial Analyst)* y se reclasifica en categorías (N, NE, E.)

**Temperatura y Precipitación (climáticos; rasters de bioclimáticas o interpoladas):** El cacao requiere rangos específicos de temperatura y precipitación anual/estacional por lo que definir las zonas en que las temperaturas y precipitaciones se adaptan más a este cultivo suponen una ventaja fundamental que debe tomarse en cuenta.

Para esto implementamos la herramienta *Project Raster* en caso de que la información se encuentre en una proyección diferente a la requerida en el proyecto para seguidamente combinar variables climáticas con el *Raster Calculator* y el *Zonal Statistics* (por unidades administrativas).

Seguidamente se genera una reclasificación en donde se definen los rangos óptimos (precipitación anual 1200–2500 mm = alta aptitud). Y se usa el bioclim rasters para seleccionar las variables relevantes.

**Tipo de suelo / textura / profundidad efectiva (vector o raster).** Esta variable **facilita la verificación de viabilidad de los** suelos para el cultivo pues este requiere de suelos profundos con buen drenaje y pH adecuados favorecen cacao.

Para la determinación de este se usa a la herramienta *Feature to Raster* para generar la reclasificación para valorar suelos por aptitud. Al no contar con la carta de suelo detallada se realiza una estimación aproximada usando como base la información obtenida de los geoportales.

**Cobertura/uso del suelo (Land Cover / NDVI): Finalmente esta variable permite la identificación de las** áreas ya convertidas en agricultura, bosques primarios, pastos con la finalidad de evitar conflicto de uso de suelo por doble presencia de intervención antropogénica y el deterioro de zonas ambientalmente protegidas y para esto se implemente índice NDVI a través de el *Raster Calculator*  $(NIR - Red)/(NIR + Red)$ .

Finalmente se cruzan las variables para definir las zonas de interés para la ejecución de los proyectos encaminados a la siembra de cacao como mecanismo de remplazo de los cultivos ilícitos.

#### **5.3.4. Fase 4: Salidas graficas**

Inicialmente se estructura de geodatabase con todas las capas utilizadas y generadas para a partir de estas generar una serie de mapas temáticos con la zonificación, superposición y su priorización en donde se pretende plasmar de manera clara y concisa la información detallada de los puntos de mayor viabilidad para generar la transición adecuada de los cultivos ilícitos por cultivos de cacao.

Adicionalmente se genera la sistematización de resultados en cuadros, tablas y gráficos en los que se presente la información técnica y a partir de estos se genere una interpretación de

los resultados y sus respectivas recomendaciones.

## **6. Resultados esperados**

Como resultado del desarrollo de esta investigación, se espera obtener un conjunto de productos técnicos y analíticos que permitan identificar, delimitar y priorizar áreas aptas para el cultivo de cacao como alternativa sostenible en procesos de sustitución de cultivos ilícitos en el municipio de Puerto Asís, Putumayo. Estos resultados estarán directamente alineados con los objetivos específicos y servirán como insumos para la toma de decisiones en planificación territorial, desarrollo rural y diseño de políticas públicas.

Los principales resultados esperados son: un mapa temático que representa las zonas con aptitud alta, media, baja y no apta para el cultivo de cacao, basado en el análisis de variables ecológicas (clima, suelos, relieve y uso del suelo). Adicionalmente se espera la generación de un mapa de coincidencia con las áreas de cultivos ilícitos el cual se complementará con un producto cartográfico que evidencia las áreas donde las zonas agroecológicamente aptas para el cacao se superponen con zonas actualmente afectadas por cultivos ilícitos, delimitando territorios estratégicos para la transición productiva.

De igual manera se espera la creación de un mapa de priorización territorial en donde se genere la representación espacial del resultado del análisis multicriterio que integra aptitud agroecológica, accesibilidad (distancia a vías y centros poblados) y factores socioeconómicos. Permitirá jerarquizar las áreas con mayor potencial para la implementación de proyectos de sustitución sostenible.

Seguidamente se pretende estructurar una base de datos geográfica en formato interoperable (por ejemplo, .GDB o .GPKG) con todas las capas de información utilizadas y

generadas, incluyendo metadatos, estructura temática y formatos estandarizados.

Para posteriormente generar una descripción detallada de la metodología, los hallazgos, las interpretaciones geográficas y las recomendaciones estratégicas para instituciones, comunidades y tomadores de decisiones locales y nacionales.

Finalmente se espera la generación de Insumos para la planificación territorial y el desarrollo alternativo a través de productos técnicos que podrán ser utilizados por entidades del Estado, organizaciones sociales, cooperación internacional y comunidades rurales, como herramienta de soporte para procesos de implementación del PNIS, PDET u otras estrategias de reconversión productiva.

Estos resultados no solo permitirán una mejor comprensión del potencial productivo del municipio, sino que también contribuirán a la toma de decisiones basadas en evidencia espacial, promoviendo procesos de sustitución de cultivos ilícitos más efectivos, sostenibles y territorialmente pertinentes.

**Tabla 2***Resultados y productos esperados de la investigación*

Objetivos	Resultados / productos Esperados	Indicador	Beneficiario
-Establecer criterios de priorización espacial para el desarrollo optimo del cultivo del cacao.	-Mapa temático de zonas aptas para el cultivo de cacao.	Áreas óptimas para el cultivo de cacao.	Población general
- Delimitar las zonas agroecológicamente aptas para el cultivo de cacao.	- Mapa de zonificación en que se evidencia la presencia de cultivos ilícitos y su concordancia con las zonas posibles para el cultivo de cacao.	Áreas donde se presentan cultivos ilícitos que cumplen con los criterios óptimos para el cultivo de cacao.	Población general
	- Mapa de representación espacial de variables.	Salidas graficas de las zonas optimas de cultivo por cada variable (clima, suelos, relieve y uso del suelo).	Población general e instituciones
Desarrollar una base de datos geográfica	-Base de datos geográfica con las capas implementadas.	Achivos tipo SHP,TIF,CSV	Población general e instituciones

Fuente: Elaboración propia

### **6.1. Impactos Esperados**

La implementación de este proyecto de investigación generará impactos significativos en distintas dimensiones, alineados con los propósitos de desarrollo territorial sostenible, sustitución de economías ilícitas y fortalecimiento de la toma de decisiones con base en evidencia geoespacial. Los principales impactos esperados se clasifican así:

El estudio contribuirá a la generación de nuevo conocimiento en temas de zonificación agroecológica, análisis espacial aplicado y sustitución de cultivos ilícitos mediante herramientas SIG. Servirá como insumo metodológico y teórico para futuras investigaciones en áreas como geografía aplicada, desarrollo rural, planificación territorial y análisis multicriterio espacial. También fortalecerá la producción académica desde contextos rurales y de frontera, usualmente subrepresentados en la literatura científica.

El proyecto desarrollará un modelo replicable de análisis espacial integrado, basado en criterios agroecológicos, de accesibilidad y socioeconómicos, lo que representa una innovación metodológica para procesos de focalización territorial. Este enfoque podrá ser utilizado por instituciones públicas y privadas para orientar políticas de desarrollo alternativo, ordenamiento del suelo y gestión ambiental.

Al identificar zonas con potencial productivo y ecológico para el cultivo de cacao, el estudio aporta a la construcción de rutas de transición hacia economías lícitas, mejorando las condiciones de vida de comunidades rurales afectadas por el conflicto y el narcotráfico. Además, apoya indirectamente procesos de construcción de paz territorial, inclusión social y participación comunitaria.

Los resultados del estudio podrán ser utilizados por entidades como el Ministerio de

Agricultura, la Agencia de Renovación del Territorio, Parques Nacionales Naturales, gobiernos locales y ONGs, como insumo técnico para formular, focalizar y evaluar proyectos en el marco de programas como el PNIS o los PDET. Esto fortalece la capacidad institucional de toma de decisiones basadas en evidencia.

El proyecto servirá como material de consulta y referencia para estudiantes, docentes e investigadores de programas de formación en Sistemas de Información Geográfica, ciencias ambientales, agronomía, desarrollo rural y geografía. Asimismo, contribuirá al fortalecimiento del perfil profesional del investigador como especialista en SIG.

El trabajo visibiliza el potencial productivo y ambiental de Puerto Asís, aportando a resignificar el territorio no solo como zona de conflicto, sino como un espacio con oportunidades para la sostenibilidad, el desarrollo agroecológico y la reconciliación. Refuerza el reconocimiento de las comunidades como agentes activos en procesos de transformación territorial.

Aunque el estudio no tiene una aplicación económica inmediata, sus resultados pueden contribuir indirectamente a la generación de ingresos sostenibles para productores rurales, al facilitar la implementación de proyectos agrícolas viables como el cacao, conectados a cadenas de valor lícitas y mercados nacionales e internacionales.

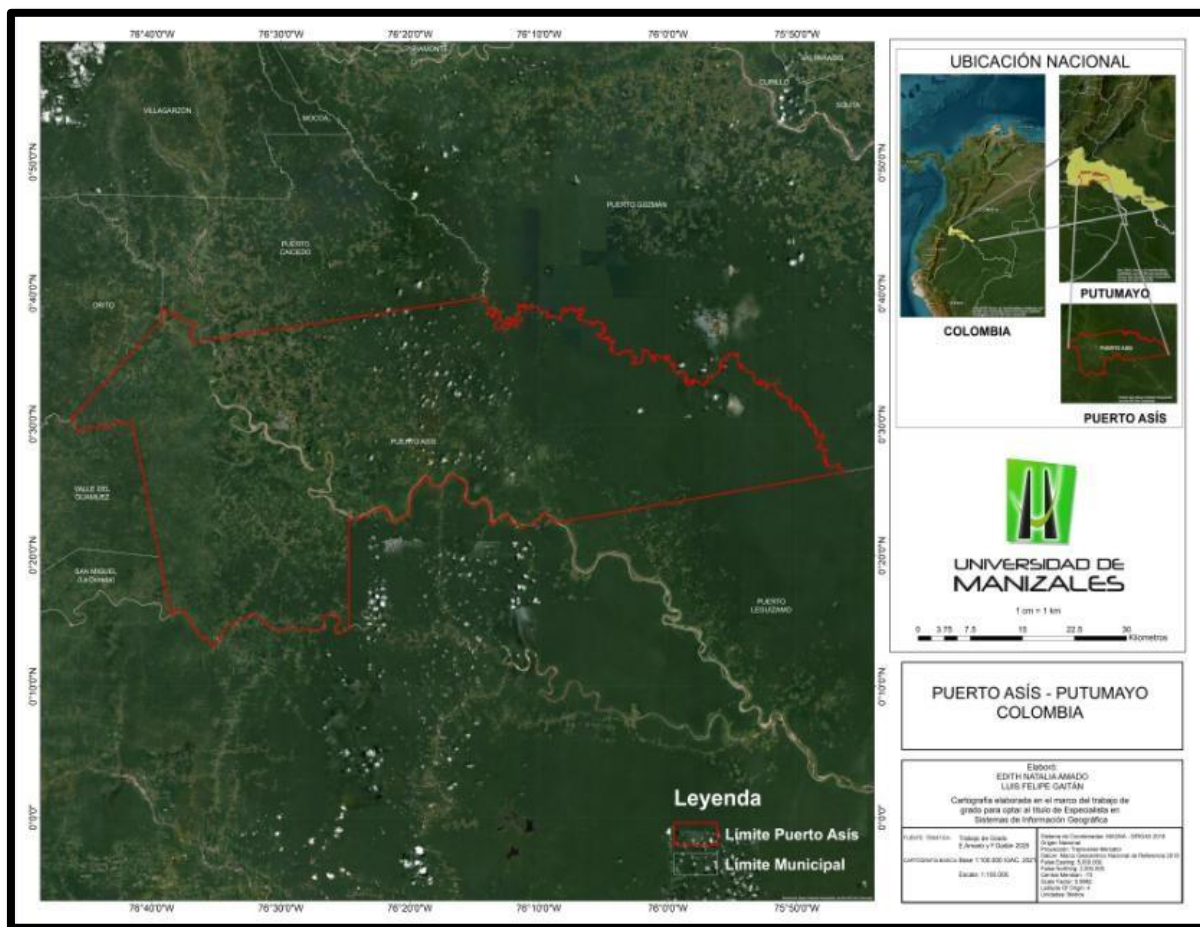
El enfoque metodológico, los datos y los resultados permitirán articular este trabajo con otros procesos investigativos sobre sustitución de cultivos, zonificación productiva, SIG y planeación rural en Colombia y América Latina, favoreciendo la creación de redes académicas, institucionales y técnicas.

## 7. Resultados

. Se logran generar una serie de salidas cartográficas en que se plasmas las diversas variables y su relación con el territorio enfocándose en las zonas que mejor se adaptan al cultivo de cacao tomando como base el mapa del municipio de Puerto Asís- Putumayo.

### Figura 8

*Ubicación nacional Puerto Asís*



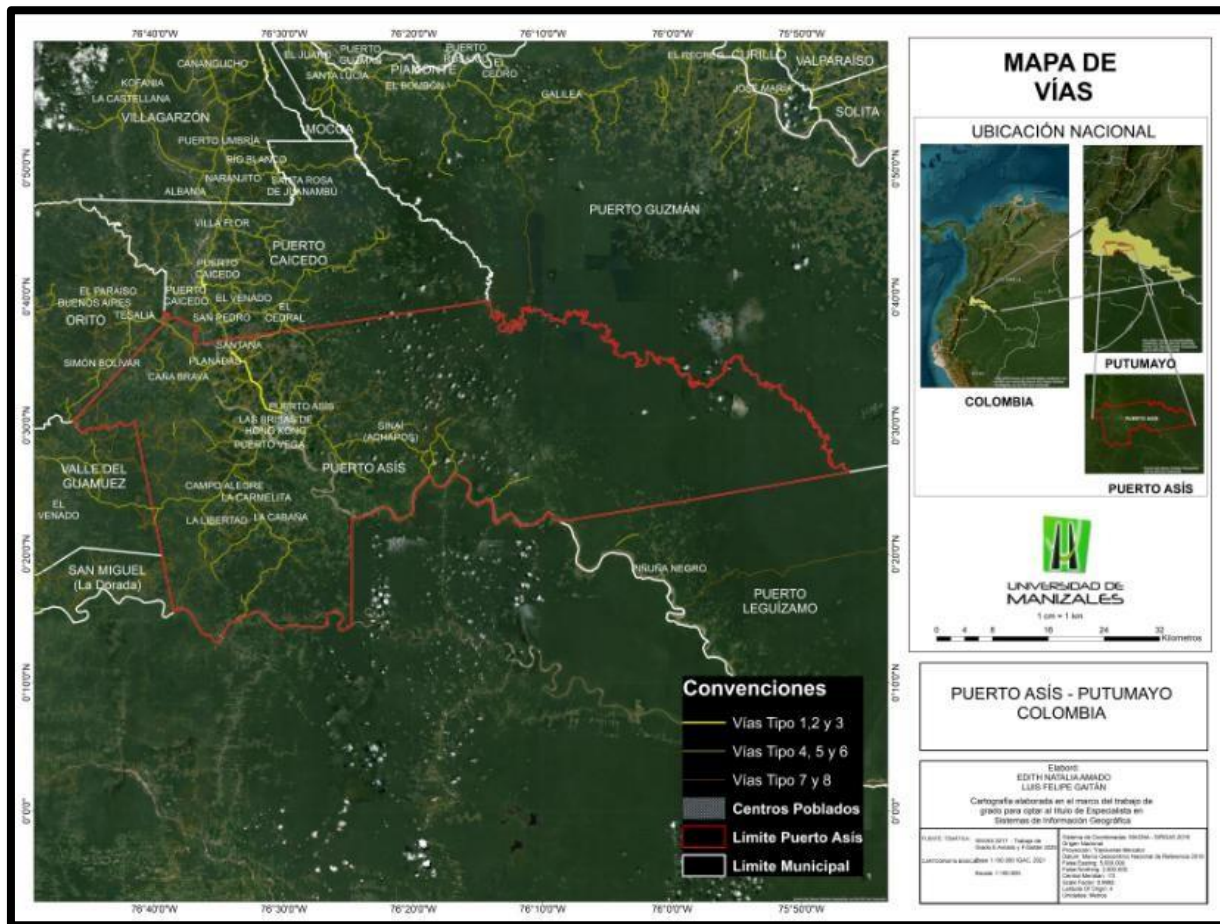
Fuente: Elaboración propia

Tomando en cuenta las características altitudinales del municipio de Puerto Asís – Putumayo y tras generar el proceso de clasificación se determina que este municipio es apto





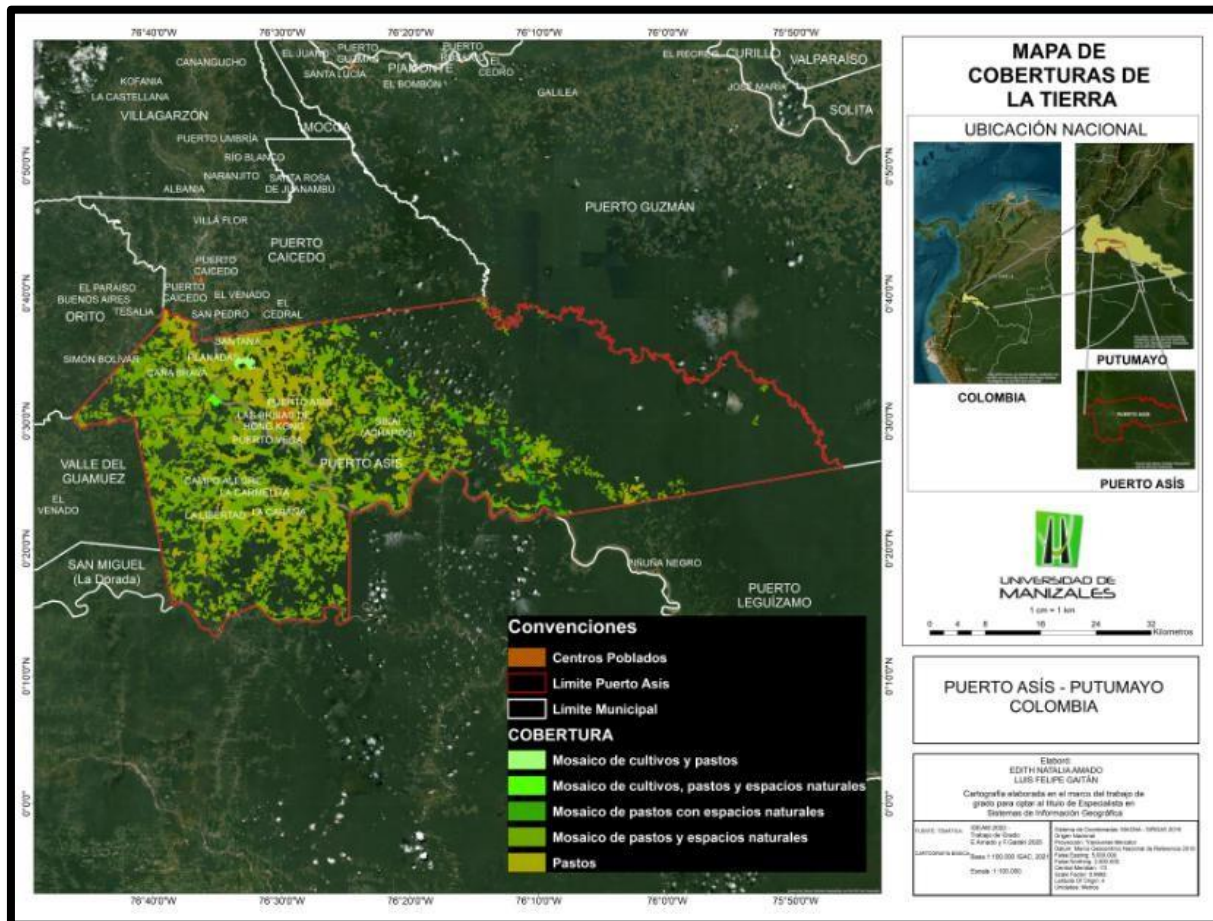
**Figura 11**  
*Mapa de vías Puerto Asís*



Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente se analiza el mapa de coberturas plasmado en la figura 12 en el que se observan diferentes mosaicos principalmente de pastos a lo largo del territorio municipal siendo estos, puntos de interés para la siembra de plantaciones de cacao debido a la facilidad relativa que se presenta a la hora de generar la transición de cultivos, sin embargo dicha transición debe tener especial cuidado en zonas en que se observe la presencia de entornos naturales de protección que puedan verse afectados por la actividad antropogénica.

**Figura 12**  
*Mapa de coberturas Puerto Asís*

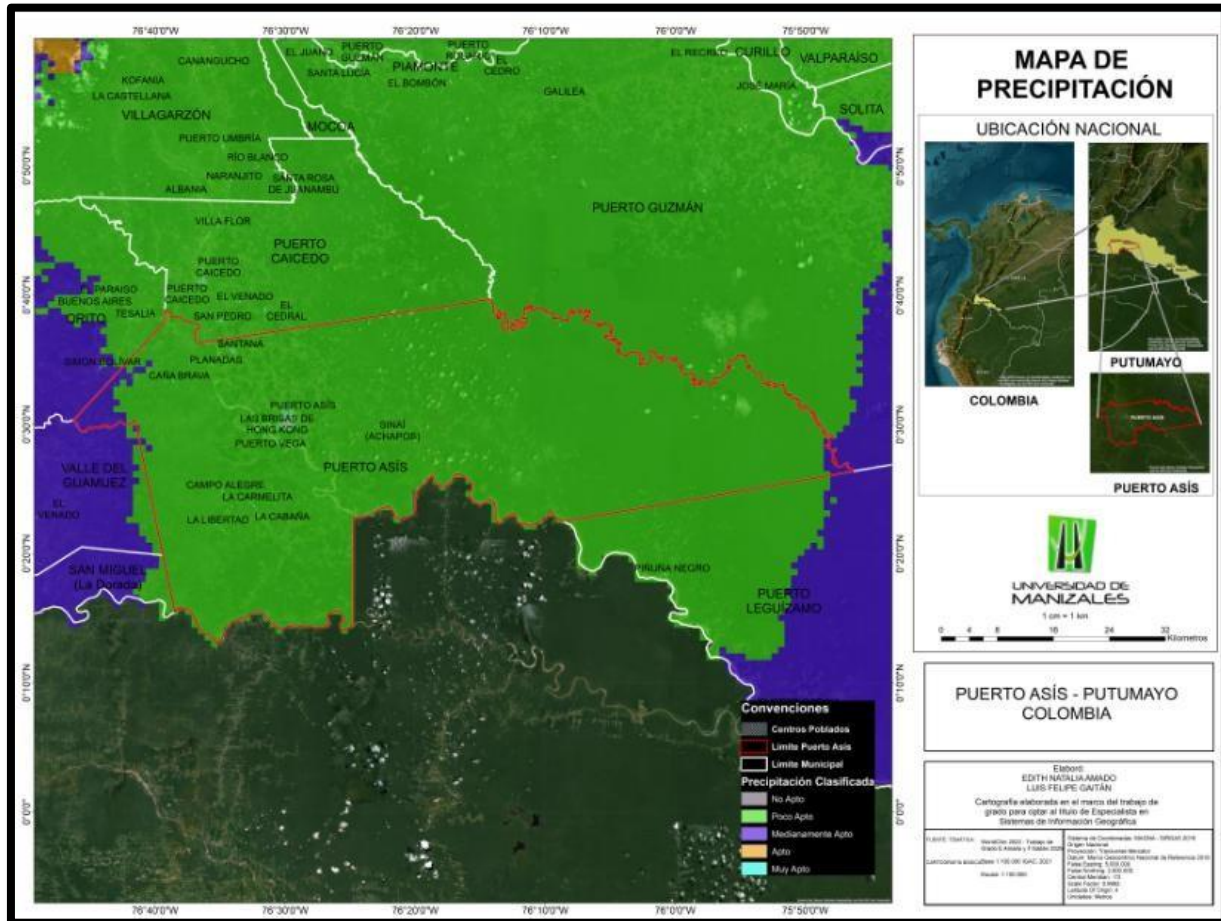


Fuente: Elaboración propia

Tras el análisis de pendiente se determina que en este apartado el municipio cuenta con zonas óptimas en todo el territorio salvo en lugares muy pequeñas en comparación como se muestra en la figura x lo que facilita tanto la siembra como el transporte del cacao debido a lo relativamente plano que resulta ser el municipio.



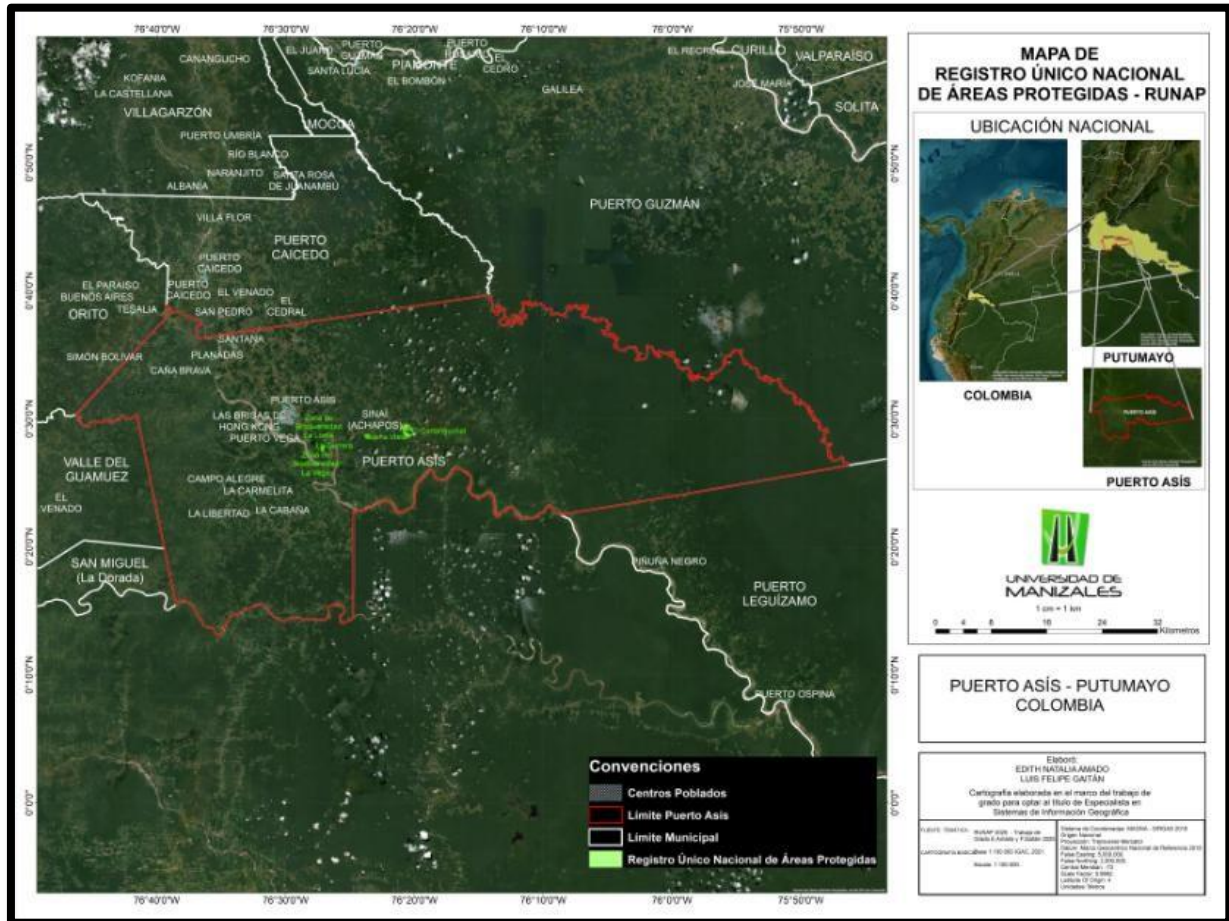
**Figura 14**  
*Mapa de precipitaciones Puerto Asís*



Fuente: Elaboración propia

En esta variable figura 15 se definen las zonas de preservación ambiental que se presentan en el municipio de Puerto Asís pues es de vital importancia considerar que en estas no se pueden llevar cabo actividades antropogénicas debido a que se pueden generar un deterioro masivo de los recursos naturales.

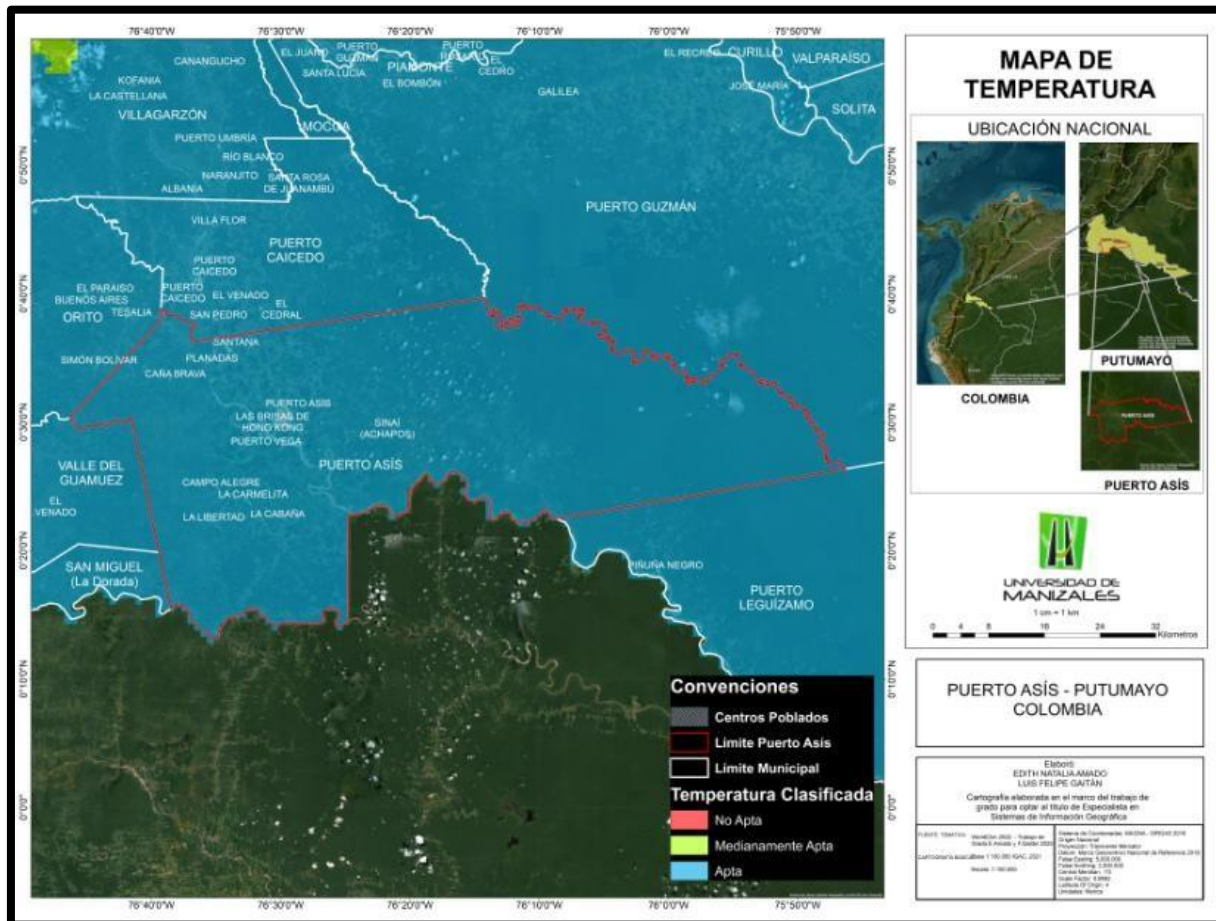
**Figura 15**  
*Mapa de registro único nacional de áreas protegidas - RUNAP*



Fuente: Elaboración propia

Tras el análisis del mapa de temperatura se percibe que el territorio cumple en su totalidad con las condiciones propicias para el desarrollo del cultivo de cacao en el territorio, lo que supone una ventaja significativa cuando se plantea la posibilidad de utilizar este producto para la transición de cultivos ilícitos en estas zonas.

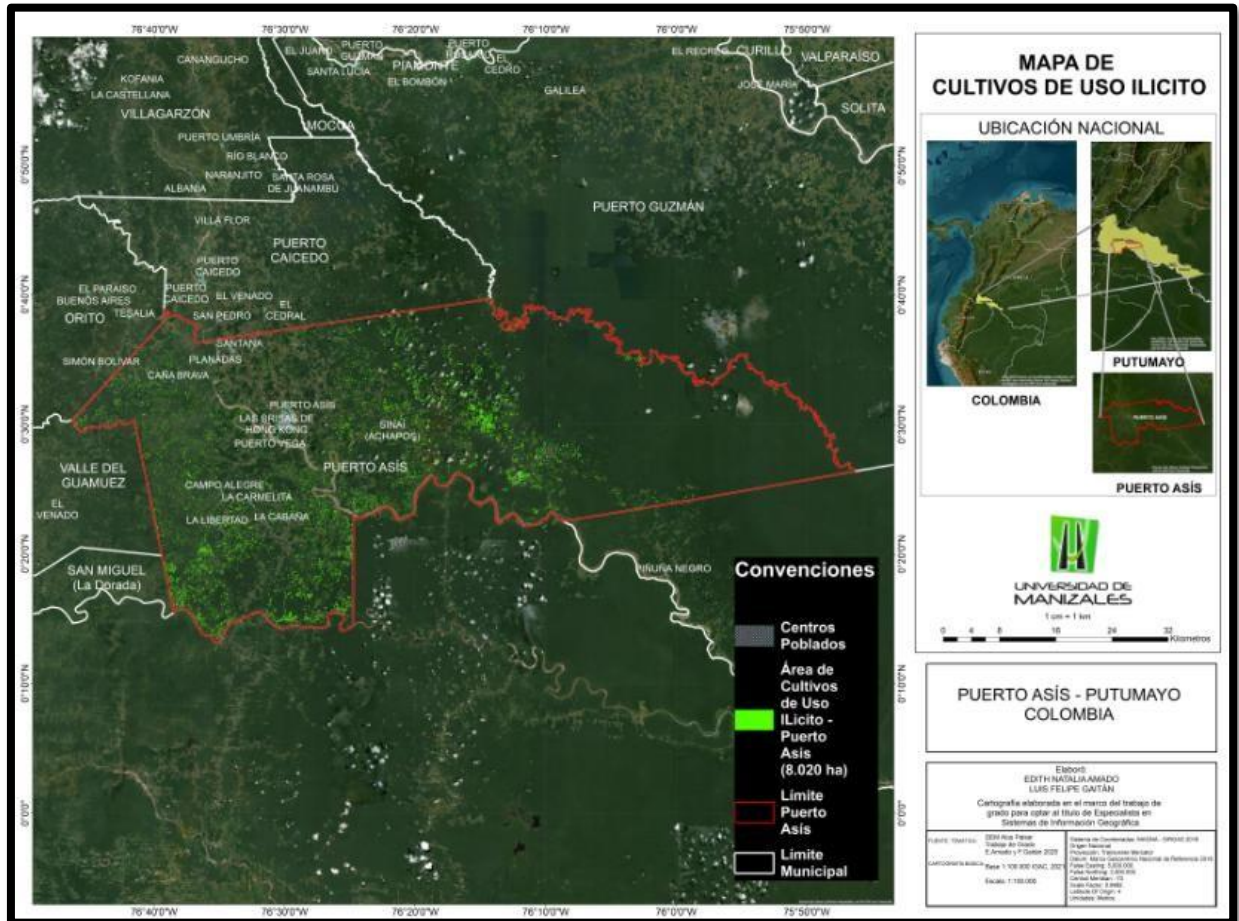
**Figura 16**  
*Mapa de temperatura Puerto Asís*



Fuente: Elaboración propia

Seguidamente se evidencia en la figura 17 las zonas de mayor predominancia de cultivos ilícitos en el municipio, lo que equivale a un 8.020 ha aproximado del territorio, denotando la importancia de generar una transición de cultivos para brindar a los habitantes una manera legal de generar ingresos fomentando el crecimiento agrícola de la región.

**Figura 17**  
*Mapa de cultivos de uso ilícito Puerto Asís*



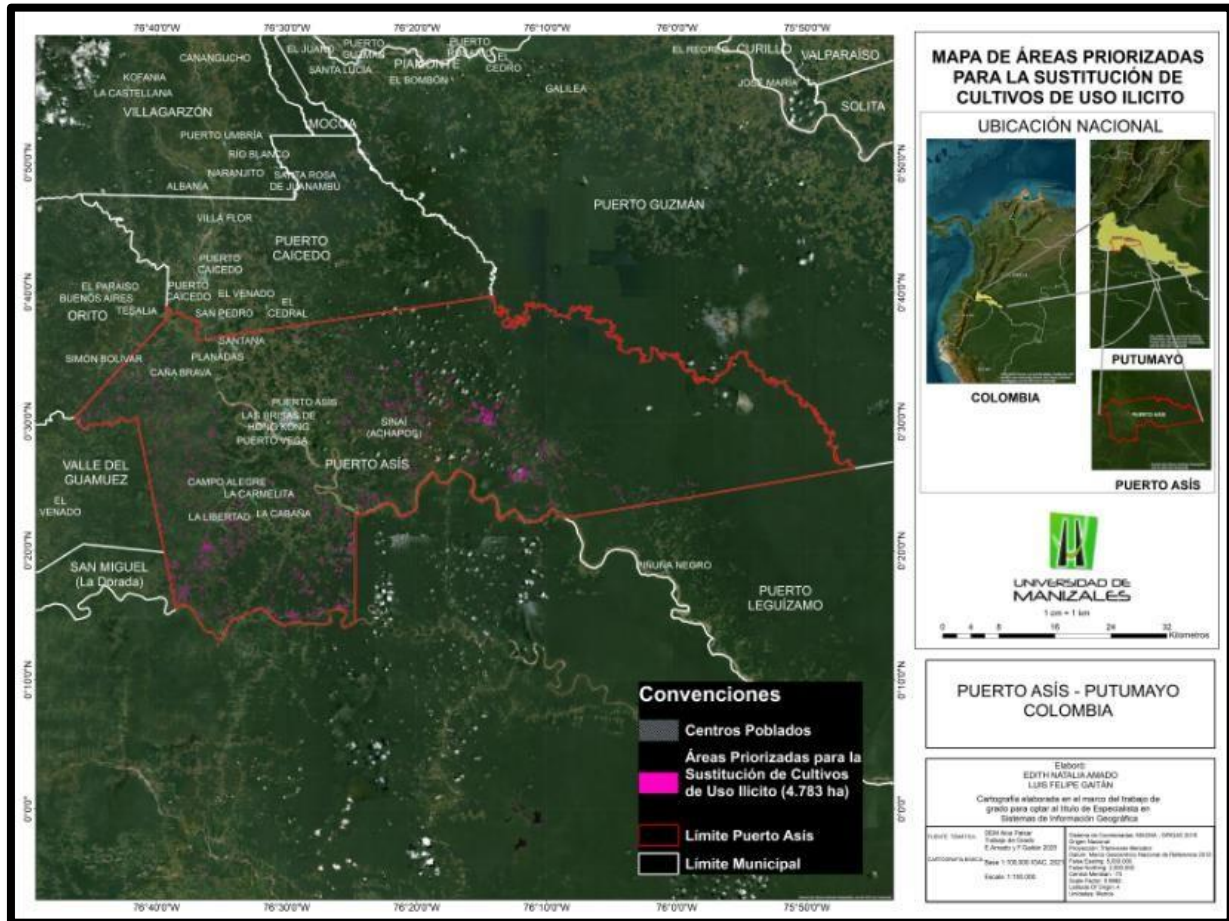
Fuente: Elaboración propia

Tras el análisis por variables individuales estas se combinan para definir las zonas de mayor concordancia en las condiciones más favorables para el desarrollo de la transición de los cultivos ilícitos a cultivos de cacao, siendo estas zonas 87.71 lo que refleja la viabilidad de la incorporación del cultivo de cacao como una plantación clave en los procesos de transición y reducción de los cultivos ilícitos como se muestra en la figura 18.



**Figura 19**

*Mapa de áreas priorizadas para la sustitución de cultivos de uso ilícito Puerto Asís*



Fuente: Elaboración propia

## 8. Conclusiones

Inicialmente con la definición de las variables a tratar referentes a la viabilidad de la transición de cultivos ilícitos a cultivos de cacao y el cómo estas variables se integran de manera eficiente en el análisis del municipio de Puerto Asís se establece que el municipio refleja unos índices positivos para la implementación del cultivo de cacao, lo que genera un impacto positivo tanto en la comunidad como en el territorio debido a la presencia de una nueva fuente de ingresos que puede generarse hasta en un total de 4783 ha, favoreciendo el crecimiento de la región lo que propicia la disminución de los cultivos ilícitos desencadenando de manera indirecta en herramientas que contribuyen al desarrollo comunitario lo que a su vez podría denotar una reducción del conflicto armado y la violencia.

De igual manera, se identifica la importancia que tiene el uso de los sistemas de información geográfico en la identificación de zonas de cultivo, debido a que estos permiten generar una zonificación a gran escala, la cual por medio de otras herramientas estaría limitada debido a las dificultades logísticas y técnicas que presentan los territorios descentralizados, por lo que es de vital importancia que estos sistemas se sigan implementando, debido a que estos son de vital importancia cuando se trata de generar revisiones de las áreas presentes de los municipios y el cómo estas áreas se distribuyen a lo largo del territorio lo que plasma la importancia que supone la implementación de los SIG en los procesos actualización geoespacial municipal.

Asimismo, el considerar a esta región y a sus habitantes en procesos transformadores hacia la paz supone un avance en la creación de territorio prósperos y sostenibles. Esto último debido a la importancia que tiene el medio ambiente en la zonificación que se genera para

evitar que se lleven procesos antropogénicos en zonas de protección ambiental claves para el desarrollo de la región.

Finalmente, se recomienda que se implemente la transición de cultivos como un mecanismo formador de paz, pero es necesario que para la ejecución de estas estrategias se involucren a las entidades públicas y privadas para que estas brinden asesoría técnica y subsidios económicos a las personas que decidan incorporarse en su ejecución.

## Referencias

- Burrough, P. A., y McDonnell, R. A. (1998). *Principles of geographical information systems*. Oxford University Press.
- El País. (2025, febrero 23). *El Parque Nacional La Paya, otra víctima del poder de los Comandos de la Frontera en Putumayo*. <https://elpais.com/america-colombia/2025-02-23/el-parque-nacional-la-paya-otra-victima-del-poder-de-los-comandos-de-la-frontera-en-putumayo.html>
- Escobar Ramírez, M. A., Miranda, D. C., & López Díaz, J. (2022). Evaluación del rendimiento y componentes de rendimiento en dos cultivares de cacao en condiciones de bosque seco tropical. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 75(3), 9815–9824. <https://doi.org/10.15446/rfnam.v75n3.105020>
- FAO. (2020). *Zonificación agroecológica: Principios, metodología y aplicación para la planificación del uso del suelo*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Fundación Ideas para la Paz (FIP). (2020). *Coca, conflicto y construcción de paz en Putumayo: un enfoque territorial*. [https://storage.ideaspaz.org/documents/fip\\_fescol\\_cocaputumayo\\_final04.pdf](https://storage.ideaspaz.org/documents/fip_fescol_cocaputumayo_final04.pdf)
- González-Orozco, C. E., Mantilla-Meluk, H., Calvache, D., y Galindo-Tarazona, R. (2022). Regionalización biogeográfica de zonas productoras de cacao en Colombia. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 25(2), 1–10. <https://doi.org/10.31910/rudca.v25.n2.2022.1931>
- González-Orozco, C. E., Mantilla-Meluk, H., y Orjuela-Castro, J. A. (2023). Zonificación agroclimática con enfoque socioecológico para zonas productoras de cacao en el departamento de Arauca. *Agronomía Colombiana*, 41(1), 39–48. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v41n1.111249>

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2010). *Metodología de la investigación* (5.<sup>a</sup> ed.). McGraw-Hill.

La Silla Vacía. (2025). *Una nueva sustitución de cultivos arranca coja con las comunidades*. <https://www.lasillavacia.com/silla-amazonia/una-nueva-sustitucion-de-cultivos-arranca-coja-con-las-comunidades/>

Malczewski, J. (1999). *GIS and multicriteria decision analysis*. John Wiley & Sons.

Mi Putumayo. (2024, octubre 18). *Putumayo reemplaza la coca por chontaduro y sachá inchi*. <https://miputumayo.com.co/2024/10/18/sustitucion-de-cultivos-ilicitos-putumayo-reemplaza-la-coca-por-chontaduro-y-sacha-inchi/>

Observatorio de la Amazonía – Fundación para la Conservación y el Desarrollo Sostenible (FCDS). (2023). *Microficha cultivos de uso ilícito en el bioma amazónico colombiano*. <https://observatorioamazonia.fcds.org.co/>

Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito (UNODC). (2022). *Monitoreo de territorios afectados por cultivos ilícitos 2021*. <https://www.unodc.org>

Rondano Gómez, J. D., y Yaruro Espinosa, D. (2023). Zonificación agroecológica para el cultivo de cacao bajo sistemas agroforestales en Carmen de Chucurí, Santander. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 17(1), 12–22. <https://doi.org/10.17584/rcch.2023v17i1.15116>

Sierra, D. (2016). El cacao como producto líder en la sustitución de cultivos ilícitos en el proceso de posconflicto. Universidad Nueva Granada. <https://share.google/zEyNGMVn5wD3HLgtz>

Vera-Vélez, E., Tschopp, M., y Götz, S. (2019). Agroforestry diversification and land-use legacy shape tree species composition and diversity in the Ecuadorian Amazon. *Agroforestry Systems*, 93, 1793–1806. <https://doi.org/10.1007/s10457-018-0295-z>

- Téllez, L. S. (2025). Proceso de “sustitución” de hoja de coca por cardamomo en el municipio Suárez (Cauca). Un estudio de caso. Recuperado de: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/88190>. Proceso de “sustitución” de hoja de coca por cardamomo en el municipio Suárez (Cauca). Un estudio de caso
- Franky, J. S. (2020). *Dinámicas territoriales en el proceso de implementación de la política de sustitución de cultivos de uso ilícito: el PNIS en la vereda Puerto las Palmas en el Catatumbo (2016 – 2019)*. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/81469>. Dinámicas territoriales en el proceso de implementación de la política de sustitución de cultivos de uso ilícito: el PNIS en la vereda Puerto las Palmas en el Catatumbo (2016 – 2019).
- Murcia, C. D. (2018). *La soberanía alimentaria en la implementación del programa nacional integral de sustitución de cultivos de uso ilícito. Caso la macarena*. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/69519>.
- Amaya, C. A. (2025). *Sustitución de cultivos de uso ilícito: economías campesinas para la conservación ambiental de las áreas protegidas de la subregión Meta – Guaviare (2017-2023)*. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/88519>.
- Clavijo, J. J. (2004). *El caucho natural, alternativa viable para tierras marginales cafeteras y cultivo promisorio para la sustitución manual de cultivos ilícitos*. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/2668>.

## Anexos

### Anexo A. Base de datos geográfica

Link de acceso a la base de datos geográfica utilizada para el desarrollo del proyecto

[https://drive.google.com/file/d/1XthAoIed7eCWN6\\_3s78lPwWfssCyN87B/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/1XthAoIed7eCWN6_3s78lPwWfssCyN87B/view?usp=sharing)

