



CON EL FINANCIAMIENTO DE:



SOCIOS EJECUTORES:

CARITAS

Schweiz
Suisse
Svizzera
Svizza



Pastoral Social

Cáritas
Coroico



ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA PARA LA CUENCA DEL RÍO COROICO

ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA PARA LA CUENCA DEL RÍO COROICO



**CUENCA DEL RÍO
COROICO**
Mi Cuenca, Mi Casa



ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA PARA LA CUENCA DEL RÍO COROICO



La **Zonificación Agroecológica para la Cuenca del Río Coroico**, es un documento técnico desarrollado en el marco del Proyecto *Mi Cuenca, Mi Casa: Reducción del riesgo de desastres en la cuenca del Río Coroico mediante la resiliencia de los medios de vida ambientales, sociales y económicos*, implementado por el consorcio constituido por Caritas Suiza, Caritas Coroico, Agua Sustentable y Protección del Medio Ambiente Tarija, con apoyo financiero del Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo de Alemania (BMZ), Caritas Alemania y Caritas Suiza.

Coordinación del Estudio

Ricardo Vito Aguilar Guerrero

Redacción del Documento y Mapas

Ricardo Vito Aguilar Guerrero & Javier Calderón Russo & Vladimir Cesar Paye

Fotografías

Ricardo Vito Aguilar Guerrero & Vladimir Cesar Paye

Gerencia del Proyecto

María de los Angeles Lara

Diseño y Diagramación

SGRAFICA IMPRESORES

Lugar y Fecha de Elaboración

Bolivia, diciembre de 2024

Fecha de Publicación

Abril de 2025

Depósito Legal

4-1-2768-2025

Agradecimientos

El presente estudio ha sido posible gracias al invaluable apoyo de múltiples actores comprometidos con el desarrollo sostenible de la Cuenca del Río Coroico. Extendemos nuestro profundo agradecimiento a los Gobiernos Municipales por su respaldo institucional y facilitación de espacios de trabajo conjunto. Reconocemos especialmente la participación activa de las familias de las comunidades, quienes generosamente compartieron sus conocimientos, enriqueciendo este análisis con perspectivas locales fundamentadas en la experiencia vivida. Asimismo, valoramos la retroalimentación técnica proporcionada por los profesionales de las organizaciones socias del consorcio: Caritas Suiza, Caritas Coroico, Agua Sustentable y Protección del Medio Ambiente Tarija, cuyas observaciones y aportes fortalecieron la rigurosidad de este documento. Este trabajo no habría sido posible sin el apoyo financiero de Caritas Alemania y el Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo de Alemania (BMZ), en el marco del Proyecto Mi Cuenca Mi Casa.

Liberación de Responsabilidad

Las opiniones expresadas en este artículo son las del autor y no reflejan necesariamente la posición oficial de Caritas Suiza, Caritas Alemania ni del BMZ.

Citación Sugerida

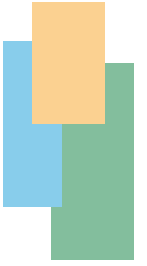
Aguilar, R., Calderón, J., & Paye, V. (2025). Zonificación Agroecológica para la Cuenca del Río Coroico. La Paz, Bolivia.

Derechos Reservados © 2025 Se permite la reproducción parcial del contenido con fines educativos y sin fines de lucro, siempre que se cite la fuente. Se prohíbe su reproducción total o con fines comerciales sin autorización escrita de las instituciones responsables.



1. ANTECEDENTES	5
2. OBJETIVOS	6
3. UBICACIÓN	6
4. MÉTODOLÓGÍA	7
4.1. Fisiografía	8
4.2. Suelos	8
4.3. Clima	9
4.4. Identificación de las unidades de zonificación agroecológica	9
4.5. Sistematización de la información	10
4.6. Reclasificación de las variables esenciales	10
4.7. Importancia de las variables esenciales	10
4.7.1. Análisis de dispersión	10
4.7.2. Importancia relativa	10
4.8. Suma ponderada para cada Zona Agroecológica (ZAE) identificada	10
5. RESULTADOS	10
5.1. Fisiografía	11
5.1.1. Pendiente	11
5.2. Suelos	12
5.2.1. Arena	12
5.2.2. Limo	13
5.2.3. Arcilla	15
5.2.4. Grava	17
5.2.5. Densidad aparente	19
5.2.6. Contenido de volumen de agua -10kPa	21
5.2.7. Capacidad de intercambio catiónico (a pH 7)	23
5.2.8. Nitrógeno	25
5.2.9. Carbono orgánico del suelo	27
5.2.10. pH	29
5.2.11. Textura	31
5.3. Clima	33
5.3.1. Precipitación durante la estación de crecimiento (GSP) KgPP/m2	33
5.3.2. Temperatura durante la estación de crecimiento (GST)°C	34
5.3.3. Humedad relativa de superficie (HRS) %	36
5.3.4. Cantidad de biomasa producida por las plantas (NPP) GC/m2	37
5.4. Identificación de las unidades de zonificación agroecológica	39
5.4.1. Agrosilvopastoril	39
5.4.2. Agrosilvopastoril de Uso Limitado	39
5.4.3. Ganadero Extensivo	39
5.4.4. Forestal	40
5.4.5. Forestal de Uso Limitado	40

5.5.	Sistematización de la información.....	41
5.6.	Reclasificación de las variables esenciales.....	47
5.6.1.	ZAE Agrosilvopastoril y Agrosilvopastoril de uso limitado.....	47
5.6.2.	ZAE Forestal y Forestal de uso limitado.....	48
5.6.3.	ZAE Ganadería Extensiva.....	49
5.7.	Importancia de las variables esenciales.....	50
5.7.1.	Matriz de correlación Spearman.....	50
5.7.2.	Matriz de correlación Kendall.....	51
5.7.3.	Análisis de dispersión.....	53
5.7.4.	Importancia relativa.....	53
5.7.5.	Variables ponderadas.....	54
5.8.	Suma ponderada para ZAE en el área de acción.....	54
5.9.	Zonificación Agroecológica.....	55
5.9.1.	Zona agroecológica agrosilvopastoril.....	57
5.9.2.	Zona agroecológica agrosilvopastoril de uso limitado.....	58
5.9.3.	Zona agroecológica Forestal.....	60
5.9.4.	Zona agroecológica Forestal de uso limitado.....	63
5.9.5.	Zona agroecológica Ganadero extensivo.....	65
5.9.6.	Zona agroecológica Protección.....	67
6.	BIBLIOGRAFÍA.....	71



1. Antecedentes

El río Coroico es una cabecera de la cuenca del Amazonas y tiene un importante impacto en la población y el medio ambiente de la cuenca baja. La cuenca del río Coroico es una zona de producción de alimentos para la ciudad de La Paz, por lo que es considerada una cuenca estratégica para el Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego y ha sido incluida en la nueva versión del Plan de Cuencas Hidrográficas de Bolivia.

Las principales actividades económicas de la cuenca son el cultivo de coca y la extracción de oro mayoritariamente ilegal y contaminante, y en menor medida el transporte, el comercio, el turismo y la producción vegetal y animal. Debido a las altas temperaturas y a la elevada pluviosidad, la parte baja de la cuenca es especialmente adecuada para el cultivo de coca, café, plátanos, cítricos, aguacate, achiote, cacao, papaya, miel y cacao, así como para la cría de cerdos, aves y ganado. En toda la cuenca, el problema es que no existe ni se aplica un ordenamiento territorial pertinente a las potencialidades climáticas y edáficas del territorio; en este contexto, muchos productores utilizan agroquímicos de forma inadecuada, lo que provoca pérdidas económicas y la contaminación del medio ambiente.

Los principales núcleos de población son Caranavi, Coroico, Guanay y Teoponte con asentamientos intermedios cerca de la carretera de acceso principal que van creciendo de manera desordenada y en ese ámbito, se generan aguas residuales de estos asentamientos, las que se vierten hasta ahora sin tratar en el río Coroico y en sus afluentes. Otro problema es la contaminación por residuos sólidos, ya que su eliminación supera las capacidades del sistema local de eliminación de residuos.

La zonificación agroecológica reflejará las opciones de uso sostenible de la tierra dentro de las oportunidades y circunstancias biofísicas, ecológicas y socioeconómicas de la cuenca de acuerdo con los principios de la planificación del uso de la tierra. El producto principal es un documento y mapas que asignan un uso de la tierra recomendado a cada unidad del territorio con diferentes categorías de gestión para contribuir a la sostenibilidad económica, medioambiental y social de la cuenca a un nivel adecuado para la planificación comunitaria.

2. Objetivos

- Recolectar y organizar información climática, socioeconómica y ambiental para la cuenca del río Coroico.
- Analizar los datos recolectados para evaluar las condiciones actuales y potenciales de la cuenca, enfocándose en los factores que influyen en su zonificación agroecológica.
- Desarrollar la cartografía de zonificación agroecológica, destacando las áreas más adecuadas para las diferentes actividades productivas y de conservación dentro de la cuenca.

3. Ubicación

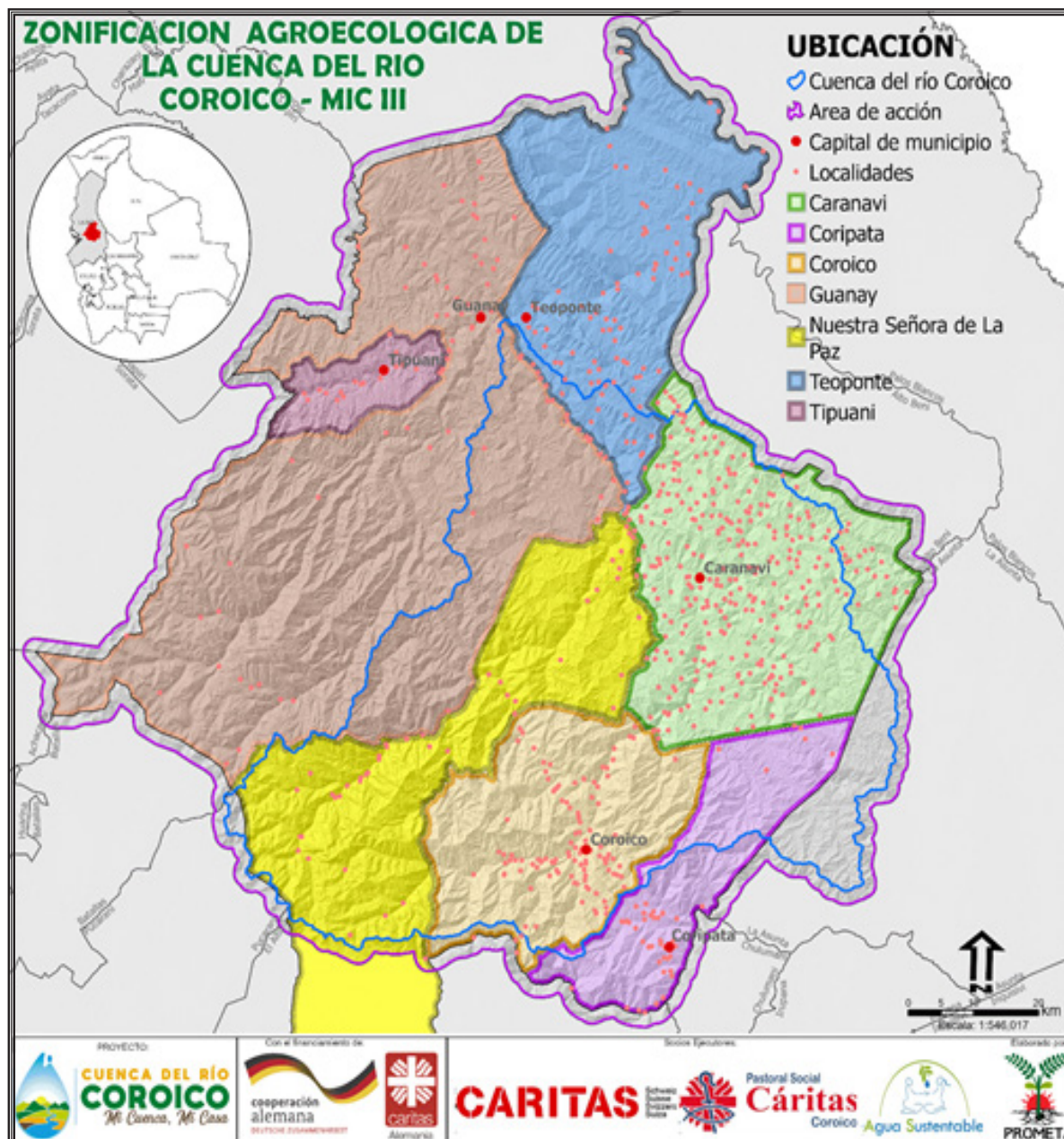
El área de acción incluye la fusión de los municipios que se ubican en la cuenca del Río Coroico: Guanay, Teoponte, Coripata, Coroico, Caranavi y el 72,7% de la parte norte del municipio de La Paz.

El área de acción abarca una superficie de 1,145,020 hectáreas (ha), de las cuales 535,668.2 ha corresponden al Río Coroico. En esta región realizan actividades 152,457 habitantes (según el CENSO 2024) desarrollando actividades en 704 localidades.

Provincia	Municipio	Superficie (Ha)	Localidades	Población Censo 2024	% del área en acción
Caranavi	Caranavi	1.554.890	315	59,094	100%
Nor Yungas	Coripata	692.547	43	23,910	100%
	Coroico	1.091.408	108	27,531	100%
Larecaja	Guanay	3.510.432	72	16,373	100%
Murillo	La Paz	1.484.352	50	4,500	73%
Larecaja	Teoponte	1.377.733	101	13,469	100%
	Tipuani	248.154	17	7,64	100%
Total del área de acción		1.005.951.60	706	152,457	

Fuente: Elaboración propia

La presión de las actividades antropogénicas sobre los recursos naturales hace necesario generar herramientas de planificación, para equilibrar la intensidad de uso con los sistemas de vida y conservar las funciones ambientales y obtener beneficios económicos perecederos en el tiempo y reducir la vulnerabilidad al cambio climático.



4. Metodología

Para determinar la zonificación agroecológica en el área de estudio se ha identificado 13 variables esenciales, fisiográficas, suelo y clima, todas en formato ráster descargadas de plataformas globales con alta valoración para la investigación.

VARIABLES	FUENTE
Elevación y Pendiente	https://search.asf.alaska.edu/#/
Suelos	https://soilgrids.org/#:~:text=SoilGrids250m%202.0%20-%20A%20system%20for%20digital%20soil%20mapping%20based
Clima	https://envicloud.wsl.ch/#/?prefix=chelsa%2Fchelsa_V2%2FGLOBAL%2F

Fuente: Elaboración propia

4.1 Fisiografía

La variable esencial fisiográfica más importante es la pendiente derivada del Modelo Digital de Elevación, realizada por cálculos y procesos dentro la plataforma ArcGIS Pro con el algoritmo, parámetro de superficie de la herramienta de análisis espacial.

4.2 Suelos

Se ha utilizado 10 variables esenciales de suelo. Cada variable tiene una profundidad de 0-5cm, 5-15cm y 15-30cm, entonces se descargaron 30 coberturas con 250m de resolución de pixel.

ID	Propiedades físicas del suelo	Profundidad (cm)
1	Arena	0 - 5
		10-15
		15 - 30
2	Limo	0 - 5
		10-15
		15 - 30
3	Arcilla	0 - 5
		10-15
		15 - 30
4	Grava	0 - 5
		10-15
		15 - 30
5	Densidad aparente	0 - 5
		10-15
		15 - 30
6	Contenido de volumen de agua a 10kPa	0 - 5
		10-15
		15 - 30

Fuente: Elaboración propia

ID	Propiedades químicas del suelo	Profundidad (cm)
7	Capacidad de intercambio catiónico (a pH 7)	0 - 5
		10-15
		15 - 30
8	Nitrógeno	0 - 5
		10-15
		15 - 30
9	Carbono orgánico del suelo	0 - 5
		10-15
		15 - 30
10	pH agua	0 - 5
		10-15
		15 - 30

Fuente: Elaboración propia

Para realizar los análisis se acoplo las 3 profundidades en una sola de 0-30cm utilizando la formula:

Luego se proyectó los ráster a unidades métricas UTM19SUR WGS84, posteriormente se alineo en número y tamaño de pixeles y finalmente se cortó al área de acción, todo en un entorno de programación de Python.



4.2.1 Textura

Para determinar la textura de USDA se utilizó los contenidos de arena, limo y arcilla en la aplicación de SAGA GIS.

4.3 Clima

Se ha utilizado tres variables descargadas del portal web CHELSA a 1km de resolución de pixel:

Variables	Siglas	Unidad	Multiplica
Precipitación durante la estación de crecimiento	GSP	KgPP/m2	0.1
Temperatura durante la estación de crecimiento	GST	°C	0.1
Cantidad de biomasa producida por las plantas	NPP	GC/m2	0.1
Humedad relativa superficial	HRS	%	0.01

Fuente: Elaboración propia

Se realizo los cálculos para obtener los datos convencionales para los análisis, luego se transformó a puntos para realizar una interpolación y obtener ráster de 250mt de resolución, con el objeto de realizar las superposiciones, se alineo en número y tamaño de pixel y finalmente se cortó al área de acción, en un entorno de programación en Python

4.4 Identificación de las unidades de zonificación agroecológica

Serealizo la identificación de la información disponible sobre la Zonificación Agroecológica (ZAE) en el área de acción, se recortó la cobertura a nivel nacional Formulado por la Unidad de Ordenamiento Territorial del Ministerio de Planificación del Desarrollo en el año 2002 a escala 1:1000000. Que se encuentra en la página web: <https://geo.gob.bo/catalogue/#/?q=Zonificaci%C3%B3n&d=2323%Bdataset>

La zonificación agroecológica corresponde a diferentes tipos de uso de suelo que están ligados a las actividades productivas, conservación del medio ambiente y capacidades naturales del territorio. Se ha identificado 5 unidades esenciales en base a la zonificación nacional realizada por la Unidad de Ordenamiento Territorial del Ministerio de Planificación del Desarrollo en el año 2002 a escala 1:1000000:

- 
- Agrosilvopastoril
 - Agrosilvopastoril de Uso Limitado
 - Ganadero Extensivo
 - Forestal
 - Forestal de Uso Limitado

4.5 Sistematización de la información

Se ha realizado la sistematización de la información sobre los rangos de idoneidad para cada unidad agroecológica y clasificar cada variable esencial en cinco clases, muy alta, Alta, Media, Baja y Muy baja aptitud, la importancia de estas clases radica en muy alta para la zona Agrosilvopastoril y alta para la Agrosilvopastoril de Uso Limitado, exactamente igual para la zona Forestal y Forestal de Uso Limitado, ganadero extensivo se realizó el análisis individual.

4.6 Reclasificación de las variables esenciales

Con la sistematización de la información sobre los rangos de idoneidad de cada variable se realizó la reclasificación en: muy alta, alta, media, baja y muy baja.

4.7 Importancia de las variables esenciales

Para definir la importancia se ha utilizado los valores originales de cada una de las variables esenciales alineadas, en tres métodos de correlación, Spearman y Kendall.

4.7.1 Análisis de dispersión

Para determinar el tipo de correlación que se ajusta a los datos se realizó un análisis de dispersión reduciendo a 1000 píxeles para que pueda ser manejable.

4.7.2 Importancia relativa

Con la matriz de correlación de Kendall se ha evaluado la importancia relativa de cada variable, sumando las correlaciones absolutas de cada variable.

4.8 Suma ponderada para cada Zona Agroecológica (ZAE) identificada

Con la importancia de las variables esenciales ponderadas y la reclasificación se realizó el cálculo de la suma ponderada, para obtener la ZAE.

5. Resultados

Se ha realizado el procesamiento, tratamiento y cálculos a 15 variables: fisiográfica (pendiente), suelo y clima

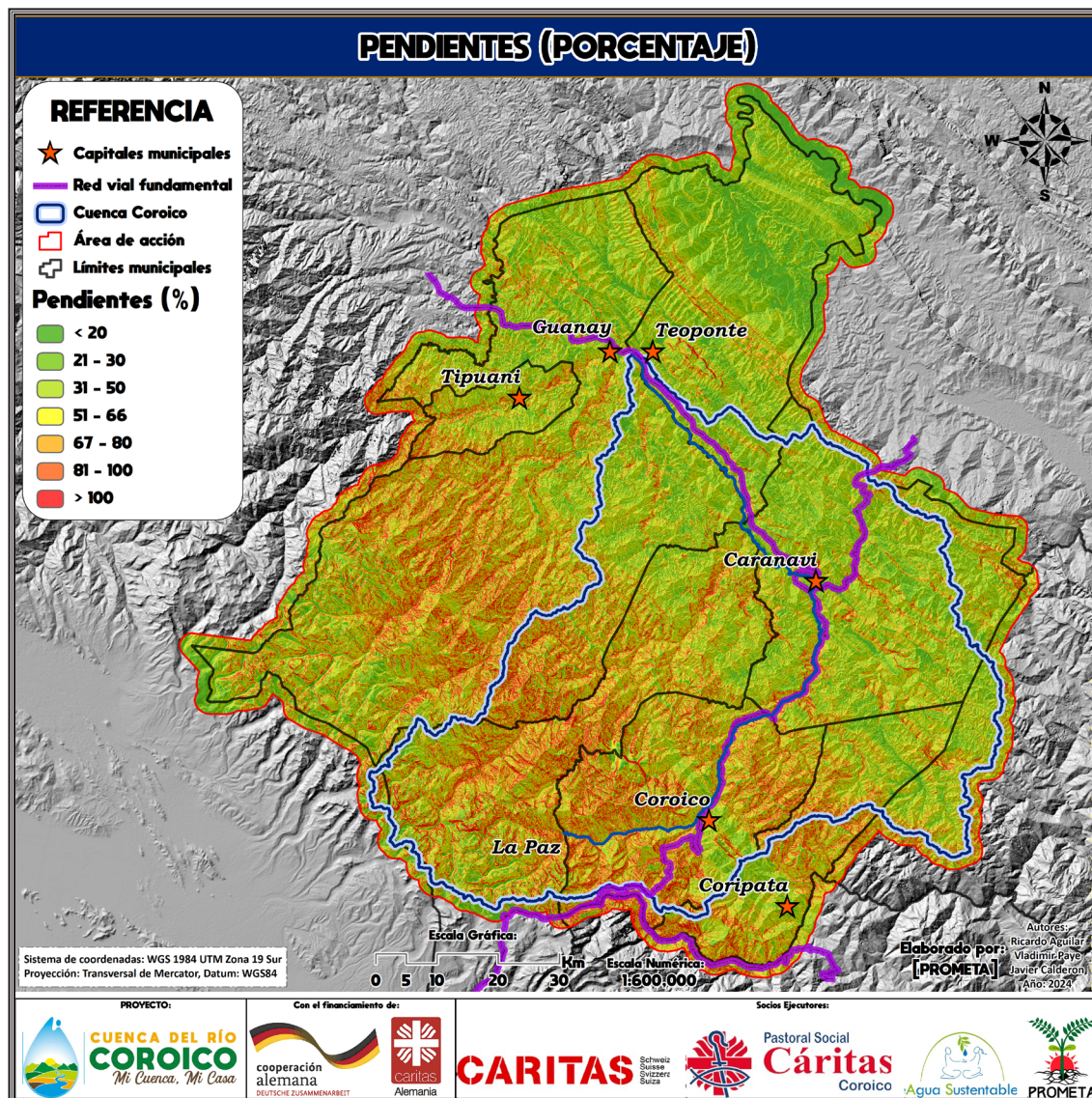
ID	CARACTERÍSTICA	VARIABLE		UNIDAD
1	Fisiografía	Pendiente		%
2	Propiedades físicas del suelo	Arena	Textura	g/100g (%)
3		Limo		g/100g (%)
4		Arcilla		g/100g (%)
5		Grava	cm ³ /100cm ³ (vol.%)	
6		Densidad aparente	kg/dm ³	
7		Contenido de volumen de agua	-10kPa	
8	Propiedades químicas del suelo	Capacidad de intercambio catiónico (a pH 7)	cmol(c)/kg	
9		Nitrógeno	g/kg	
10		Carbono orgánico del suelo	g/kg	
11		pH agua	pH	
12	Clima	Precipitación durante la estación de crecimiento (GSP)	KgPP/m ²	
13		Temperatura durante la estación de crecimiento (GST)	°C	
14		Humedad relativa superficie (HRS)	%	
15		Cantidad de biomasa producida por las plantas (NPP)	GC/m ²	

Fuente: Elaboración propia

5.1 Fisiografía

5.1.1 Pendiente

Refiere a la clasificación del terreno basada en la inclinación o el ángulo que forma la superficie del suelo, respecto al plano horizontal. Esta característica es fundamental para la zonificación agroecológica porque las pendientes influyen en procesos como la erosión, la escorrentía, la estabilidad del suelo y el uso potencial de la tierra. La pendiente en el área de acción esta entre 0 y 300%, indica una topografía montañosa, sobrepasando las inclinaciones regulares, con una orografía compleja, desde zonas con pendientes suaves hasta áreas extremadamente empinadas. En el mapa se observa en rojo los sitios con mayor inclinación de pendiente y en verde los sitios relativamente planos en tonos de verde.



Fuente: Elaboración propia

5.2 Suelos

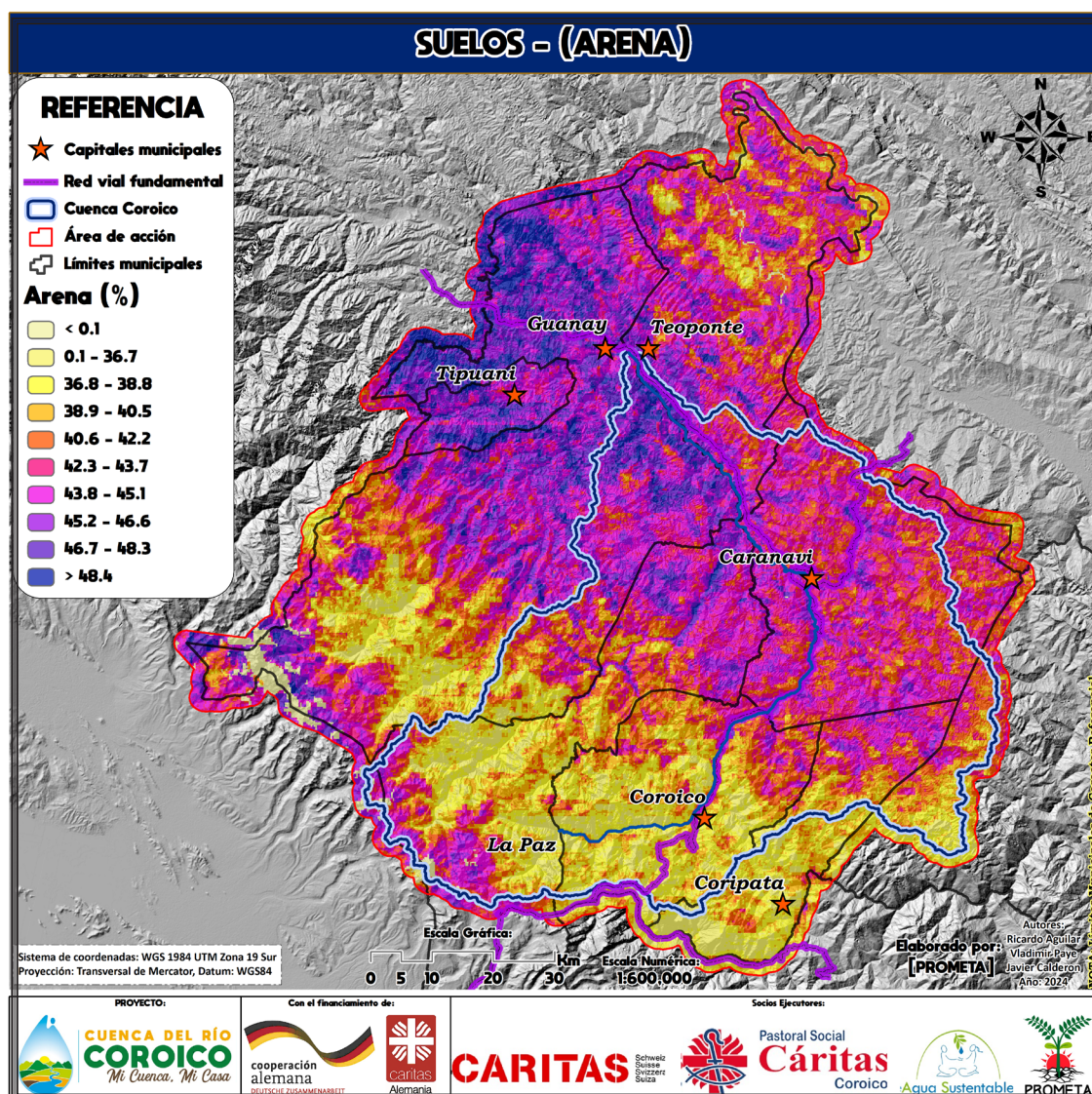
5.2.1 Arena

El contenido de arena en los suelos es un factor importante para la zonificación agroecológica, ya que afecta la capacidad de retención de agua, la aireación, el drenaje y la fertilidad, lo que a su vez influye en la adaptabilidad de ciertos cultivos.

En el área de acción, el contenido de arena varía según la ubicación y las características geomorfológicas locales. A nivel municipal se detalla algunos aspectos relevantes sobre el contenido de arena para la zonificación agroecológica en el área de acción.

MUNICIPIO	AREA	MIN	MAX	MEDIA	STD	PCT90
Coroico	109,175.0	0.0	59.7	38.9	2.3	42.1
Caranavi	155,512.5	0.0	63.1	42.9	2.1	44.7
Guanay	361,018.8	0.0	66.9	42.9	5.9	47.2
Teoponte	137,806.3	0.0	63.1	42.5	4.7	45.6
Tipuaní	24,762.5	0.0	62.8	45.6	2.3	47.8
Coripata	69,256.3	31.4	63.0	39.4	3.0	43.7
Nuestra Señora de La Paz	148,456.3	0.0	63.1	40.8	5.2	45.0

Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

5.2.2 Limo

El limo, como componente textural del suelo, tiene un comportamiento clave en varios aspectos importantes de la zonificación agroecológica, especialmente en el área de acción.

El limo influye en la retención de agua, la fertilidad del suelo, la susceptibilidad a la erosión, y el potencial de cultivo, factores críticos a considerar en un plan de zonificación agroecológica.

ID	MUNICIPIO	MIN	MAX	MEDIA	STD	MEDIAN	PCT90
1	Coroico	0	52.9	31.2	2.9	30.9	35.3
2	Caranavi	0	46.3	29.5	2.3	29.5	31.9
3	Guanay	0	51.9	27.8	5.2	27.5	34.0
4	Teoponte	0	47.0	27.8	4.0	27.8	31.6
5	Tipuaní	0	41.1	25.7	2.6	25.7	28.6
6	Coripata	0	44.2	30.8	1.9	30.7	33.3
7	Nuestra Señora de La Paz	0	51.9	31.3	4.7	31.5	36.2

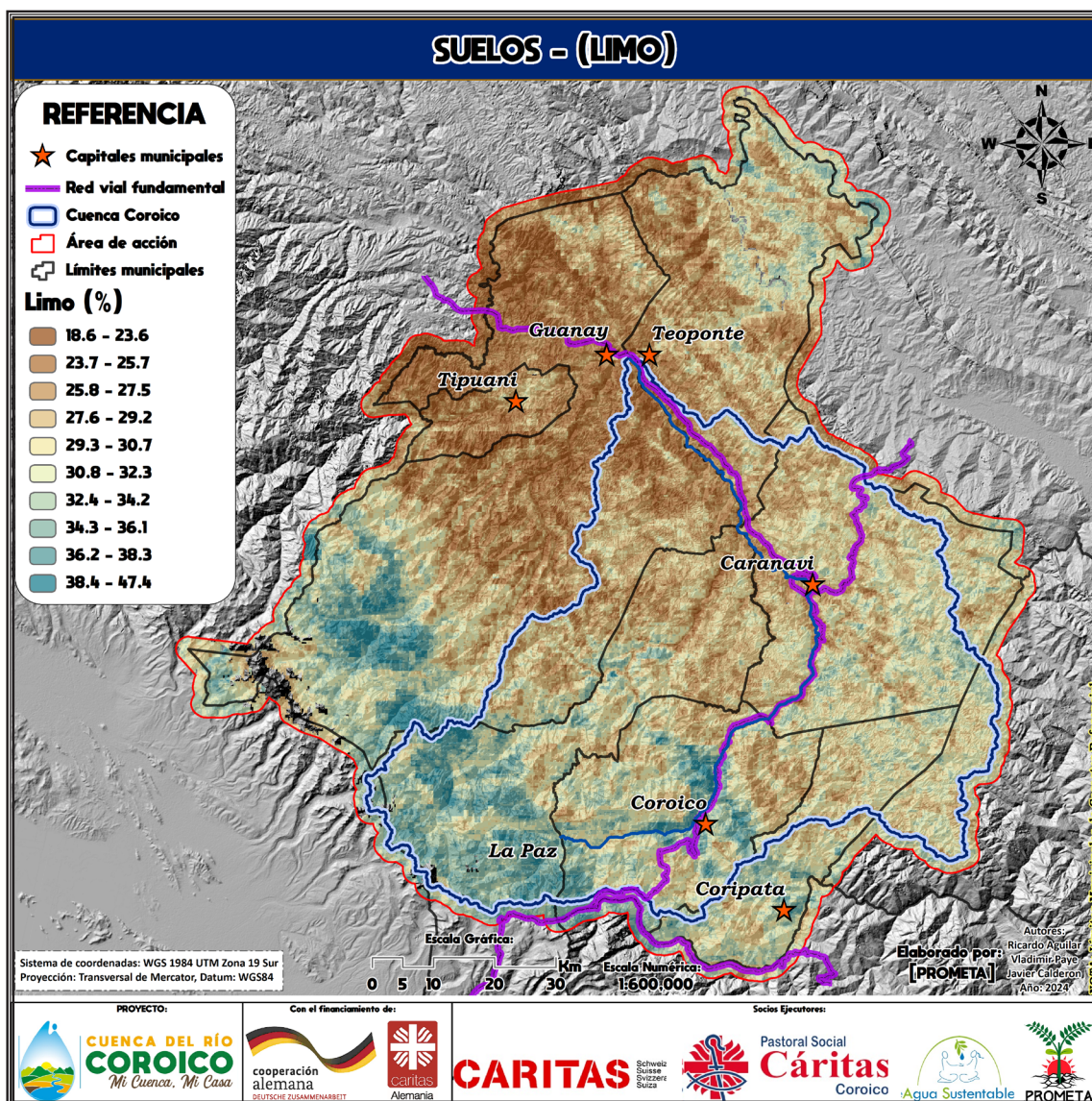
Fuente: Elaboración propia

El limo retiene más agua que la arena, pero menos que la arcilla, lo que lo convierte en un componente moderado para almacenar agua. Los suelos con alto contenido de limo, como en Coroico y Nuestra Señora de La Paz (cerca del 40%), tienen buena capacidad de retención de agua, ideal para cultivos como café, cacao y hortalizas. Sin embargo, municipios como Tipuani, con menor porcentaje de limo, requieren un manejo más cuidadoso del riego.

Aunque el limo retiene agua, es más susceptible a la erosión que la arcilla, especialmente en suelos con pendientes pronunciadas y lluvias intensas, como en los Yungas. Municipios como Guanay, con alta variabilidad en el contenido de limo, pueden ser más propensos a la erosión y necesitan técnicas de conservación de suelos.

El limo también mejora la fertilidad del suelo, reteniendo nutrientes de manera eficiente. Contribuye a la formación de agregados estables, mejorando la porosidad y la infiltración de agua. En los Yungas, un contenido moderado de limo (25-40%) es ideal para un suelo equilibrado que favorezca la infiltración de agua y la aeración de las raíces.

Suelos con limo son adecuados para una amplia variedad de cultivos, como café, cacao y frutas tropicales, al ofrecer un buen balance entre retención de agua y drenaje. En municipios con más limo, como Coripata y Nuestra Señora de La Paz, se favorece la producción intensiva de estos cultivos, mientras que, en lugares con menos limo, como Tipuani y Teoponte, se puede optar por cultivos más tolerantes a la sequía o que requieren mayor drenaje.



Fuente: Elaboración propia

5.2.3 Arcilla

El comportamiento de la arcilla en los suelos de los municipios de los Yungas de La Paz es fundamental para la zonificación agroecológica, ya que la arcilla influye en varios aspectos críticos del suelo, como la retención de agua, la fertilidad, el riesgo de erosión y la aireación del suelo. A continuación, se observa una evaluación detallada de cómo se comporta la arcilla en términos de estos factores clave, y cómo esto afecta a la zonificación agroecológica en los diferentes municipios.



ID	MUNICIPIO	MIN	MAX	MEAN	STD	MEDIAN	PCT90
1	Coroico	0	45.09	29.88	2.49	30.08	32.67
2	Caranavi	0	41.61	27.54	2.16	27.67	29.49
3	Guanay	0	45.79	27.96	4.04	28.66	31.01
4	Teoponte	0	47.73	28.84	3.54	28.95	31.62
5	Tipuaní	0	40.39	28.69	1.65	28.65	30.39
6	Coripata	0	36.95	29.79	2.78	30.11	33.08
7	Nuestra Señora de La Paz	0	42.91	26.95	4.16	27.60	30.79

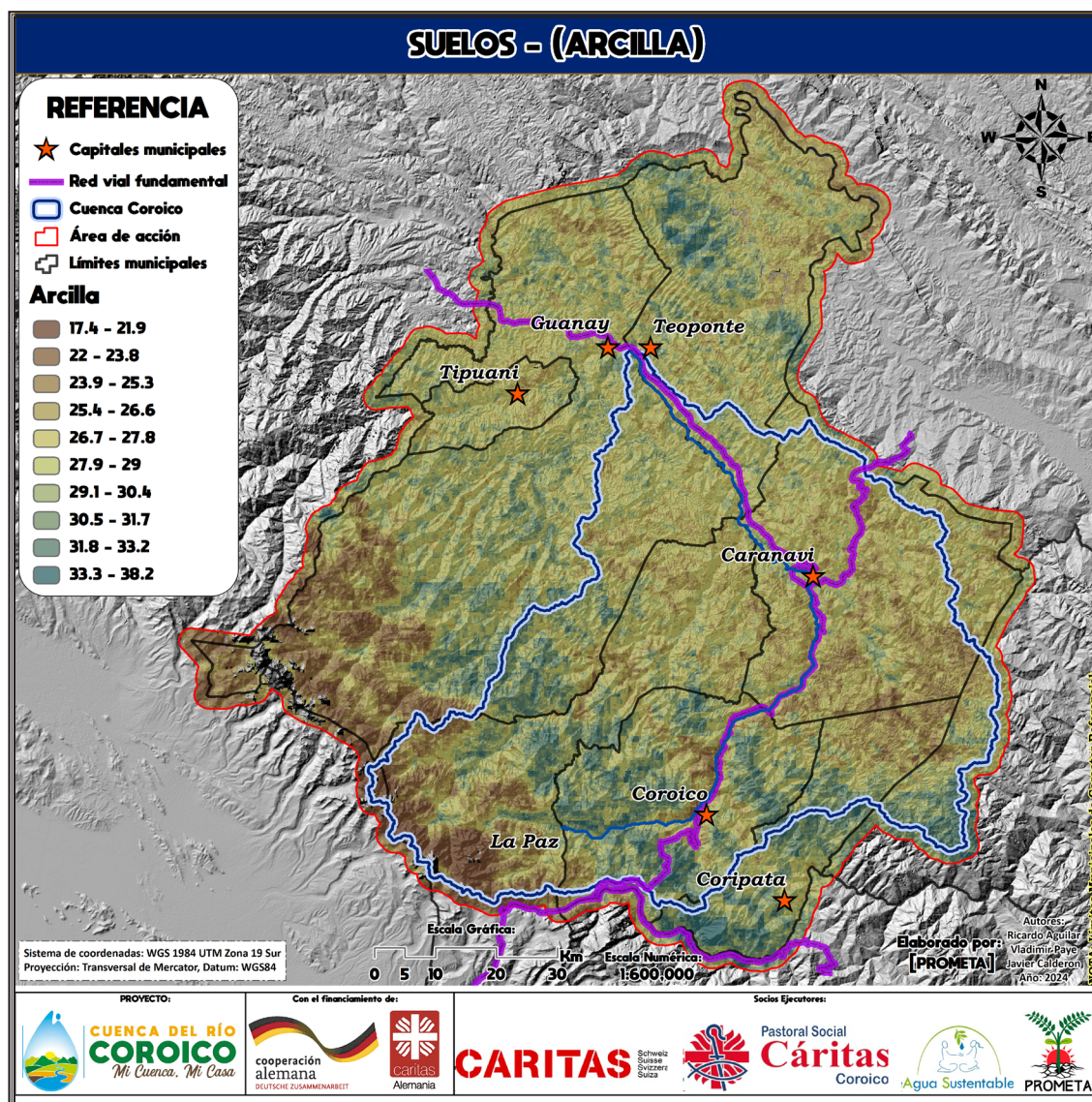
Fuente: Elaboración propia

La arcilla tiene la mayor capacidad de retención de agua debido a su estructura de partículas finas que almacenan agua en los microporos. Los suelos arcillosos retienen grandes cantidades de agua, pero se secan lentamente, lo que es útil en climas tropicales y húmedos como los Yungas. Municipios como Coroico y Coripata, con un 29.79% y 29.88% de arcilla, tienen suelos con retención moderada a alta de agua, ideal para cultivos como café, cacao y cítricos. Esto reduce la necesidad de riego frecuente. Otros municipios como Nuestra Señora de La Paz y Caranavi, con un 26.95% y 27.54% de arcilla, también presentan una retención moderada de agua.

La arcilla reduce la erosión gracias a su capacidad de cohesionar las partículas del suelo. Los municipios con más arcilla, como Coripata y Coroico, tienen bajo riesgo de erosión. En cambio, Guanay, con mayor variabilidad en el contenido de arcilla, puede tener mayor riesgo de erosión en ciertas áreas, lo que requiere medidas de conservación como terrazas y barreras vegetales.

La arcilla mejora la fertilidad del suelo al retener nutrientes como cationes (calcio, magnesio, potasio), lo que la convierte en valiosa para suelos fértiles. Sin embargo, su exceso puede reducir la aireación del suelo, causando problemas de compactación. En los Yungas, los suelos con contenido moderado de arcilla (25-30%) ofrecen un buen balance entre retención de agua y aireación, especialmente con el uso adecuado de materia orgánica.

Los suelos con un 25-30% de arcilla son ideales para cultivos como café, cacao y frutas tropicales. En áreas como Coroico, Coripata y Teoponte, estos suelos son adecuados para cultivos perennes. En Guanay y Caranavi, donde la arcilla es más variable, se deben considerar suelos bien drenados y un manejo cuidadoso del riego para evitar problemas de humedad.



Fuente: Elaboración propia

5.2.4 Grava

La grava, como componente textural del suelo, tiene un impacto significativo en la zonificación agroecológica en el área de acción.

La presencia de grava influye en factores clave como el drenaje del suelo, la retención de agua, la estabilidad del suelo, y el riesgo de erosión, todos ellos fundamentales para determinar la aptitud de un área para diferentes tipos de cultivos.



ID	MUNICIPIO	MIN	MAX	RANGO	MEDIA	STD	MEDIAN	PCT90
1	Coroico	5.5061	36.60	31.09	13.95	4.07	13.79873	17.87352
2	Caranavi	4.67137	14.79	10.11	8.59	1.48	8.457986	10.58655
3	Guanay	4.44647	42.58	38.13	14.55	8.70	10.787	30.33104
4	Teoponte	4.14278	15.12	10.97	8.87	1.48	8.740158	10.85925
5	Tipuaní	4.27621	15.64	11.36	8.67	2.07	8.283642	11.83834
6	Coripata	5.35086	24.33	18.98	12.86	3.29	12.67759	17.36008
7	Nuestra Señora de La Paz	4.535	42.84	38.30	19.19	10.22	15.57273	33.90772

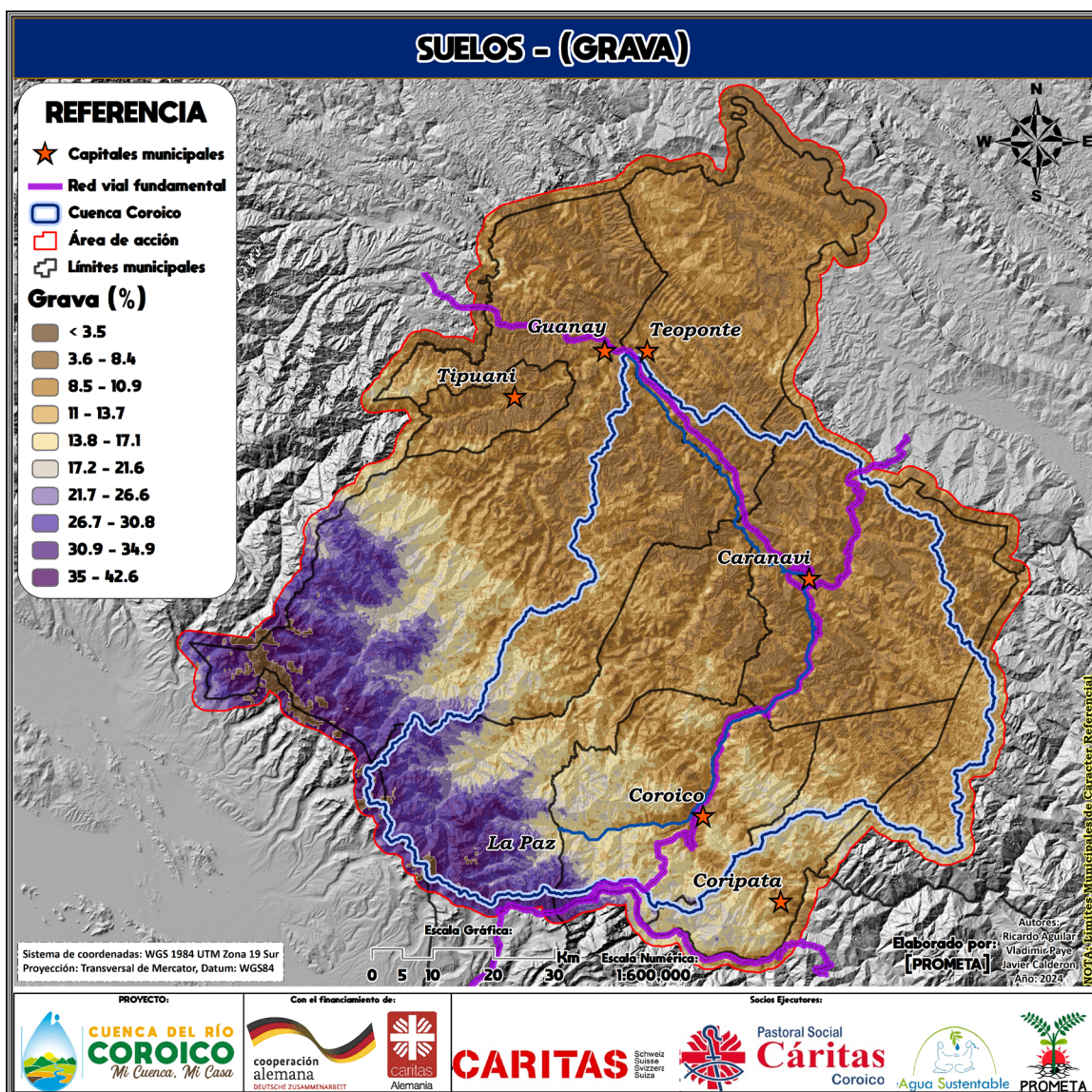
Fuente: Elaboración propia

La grava mejora el drenaje al permitir que el agua pase rápidamente debido a sus partículas grandes. Municipios con alto contenido de grava, como Nuestra Señora de La Paz (19.19%) y Guanay (14.55%), tienen suelos bien drenados, ideales para cultivos como café, cítricos y hortalizas. Sin embargo, un drenaje excesivo puede dificultar el acceso a la humedad para cultivos más exigentes en agua, por lo que se debe gestionar el riego cuidadosamente.

La presencia de grava reduce la capacidad de retención de agua. Los suelos con más grava tienden a perder agua rápidamente, lo que puede generar sequía si no se gestiona adecuadamente. Coripata (12.86%) y Coroico (13.95%) tienen buen drenaje, adecuado para cultivos que no requieren alta retención de agua, pero pueden necesitar riego adicional. Nuestra Señora de La Paz, con el contenido de grava más alto (19.19%), tiene suelos que se secan rápidamente, limitando el cultivo de plantas que requieren más humedad, a menos que se implementen técnicas como el riego por goteo.

La grava estabiliza el suelo, reduciendo el riesgo de erosión. En municipios como Guanay y Coroico, donde el contenido de grava es significativo, el riesgo de erosión es bajo. Sin embargo, en lugares con alta variabilidad, como Nuestra Señora de La Paz (desviación estándar de 10.22%), algunas zonas pueden ser más vulnerables a la erosión, lo que requiere medidas de conservación.

Los suelos con grava son ideales para cultivos que prefieren drenaje rápido, como café, cítricos y hortalizas. Municipios como Caranavi (8.59%) y Teoponte (8.87%) tienen suelos aptos para una variedad de cultivos, con un buen equilibrio entre drenaje y retención de agua. Sin embargo, en áreas como Guanay y Nuestra Señora de La Paz, donde el drenaje es rápido, los cultivos necesitan un manejo intensivo del riego para evitar el estrés hídrico.



Fuente: Elaboración propia

5.2.5 Densidad aparente

La densidad aparente (DA) es un factor crucial para la zonificación agroecológica, ya que influye directamente en la retención de agua, la aireación del suelo, el desarrollo de las raíces y la compactación.

A continuación, se observa un análisis general de cómo se comporta la densidad aparente en los municipios de los Yungas de La Paz y sus implicaciones para la zonificación agroecológica:



ID	MUNICIPIO	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	MEDIAN	PCT90
1	Coroico	0.9770	1.2554	0.2784	1.1020	0.0374	1.0986	1.1530
2	Caranavi	0.9358	1.2653	0.3296	1.1026	0.0409	1.1041	1.1503
3	Guanay	0.9486	1.2454	0.2969	1.1163	0.0539	1.1248	1.1805
4	Teoponte	0.9621	1.2689	0.3068	1.1364	0.0394	1.1423	1.1784
5	Tipuaní	0.9713	1.2632	0.2919	1.1298	0.0556	1.1357	1.1981
6	Coripata	0.9846	1.2596	0.2750	1.1090	0.0450	1.1014	1.1805
7	Nuestra Señora de La Paz	0.9549	1.2561	0.3011	1.1280	0.0464	1.1294	1.1883

Fuente: Elaboración propia

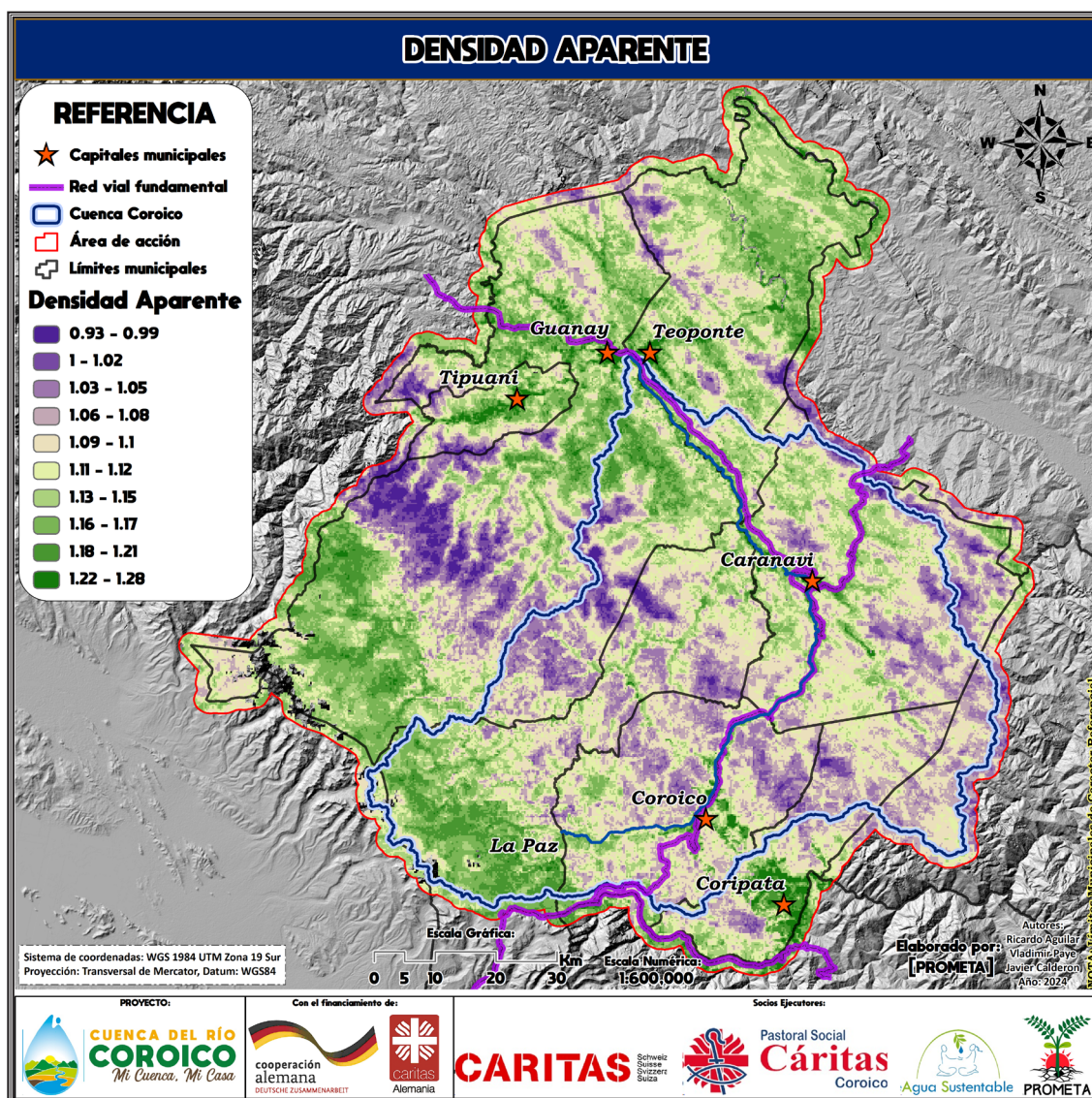
La densidad aparente está inversamente relacionada con la capacidad de retención de agua del suelo. Suelos con densidad baja a moderada ($1.10 - 1.13 \text{ g/cm}^3$), como en los municipios de los Yungas, retienen suficiente agua sin estar sobresaturados, lo que es ideal para cultivos como café y cítricos. Municipios como Coroico (1.10 g/cm^3) y Caranavi (1.10 g/cm^3) tienen suelos con buena retención de agua y drenaje, favoreciendo el crecimiento de las plantas.

La aireación del suelo se ve afectada por la densidad aparente. En municipios con densidades superiores a 1.13 g/cm^3 , como Guanay (1.12 g/cm^3) y Teoponte (1.13 g/cm^3), puede haber compactación, reduciendo el acceso de oxígeno a las raíces, lo que limita el crecimiento de las plantas, especialmente en cultivos sensibles a la aireación.

La compactación aumenta con una densidad elevada, lo que limita el desarrollo de las raíces y su capacidad para acceder a agua y nutrientes. En municipios como Nuestra Señora de La Paz (1.13 g/cm^3) y Teoponte (1.13 g/cm^3), una mayor densidad indica un riesgo de compactación, lo que podría dificultar el crecimiento de raíces profundas. Se recomienda usar prácticas como labranza mínima y agregar materia orgánica para reducir la compactación.

La desviación estándar baja ($0.037\text{-}0.056 \text{ g/cm}^3$) indica suelos homogéneos en la mayoría de los municipios, lo que facilita la zonificación agroecológica. Nuestra Señora de La Paz tiene variabilidad moderada, lo que sugiere que algunas áreas necesitan un manejo más cuidadoso.

Zonas con baja densidad aparente ($1.10 - 1.11 \text{ g/cm}^3$), como Coroico y Caranavi, tienen suelos ideales para cultivos que requieren buen drenaje y retención de humedad. Zonas con densidad moderada ($1.12 - 1.13 \text{ g/cm}^3$), como Guanay, Teoponte y Tipuaní, necesitan un manejo más cuidadoso para evitar la compactación, implementando técnicas como el uso de cobertura vegetal y labranza mínima.



Fuente: Elaboración propia

5.2.6 Contenido de volumen de agua -10kPa

El contenido de volumen de agua a -10 kPa es un parámetro clave para determinar la capacidad de retención de agua del suelo. Este valor indica la cantidad de agua que el suelo puede almacenar después de un riego o una lluvia y cuando la presión aplicada al agua en el suelo es de -10 kPa, lo que representa condiciones de campo llenas de agua, pero sin encharcamiento.



ID	MUNICIPIO	MIN	MAX	RANGE	MEDIA	STD	MEDIAN	PCT90
1	Coroico	35.2000	44.0333	8.8333	39.4548	1.3087	39.3833	41.2333
2	Caranavi	35.2333	42.1833	6.9500	39.2475	1.0479	39.4167	40.5167
3	Guanay	34.2833	44.1500	9.8667	39.2893	1.1366	39.3000	40.6500
4	Teoponte	36.3833	41.9167	5.5333	39.4625	0.8300	39.5833	40.4500
5	Tipuaní	36.0500	41.3167	5.2667	39.3756	0.7786	39.4833	40.2833
6	Coripata	35.2333	42.0167	6.7833	39.1501	1.0047	39.1667	40.4500
7	Nuestra Señora de La Paz	35.4667	44.1000	8.6333	39.6515	1.3251	39.6667	41.3333

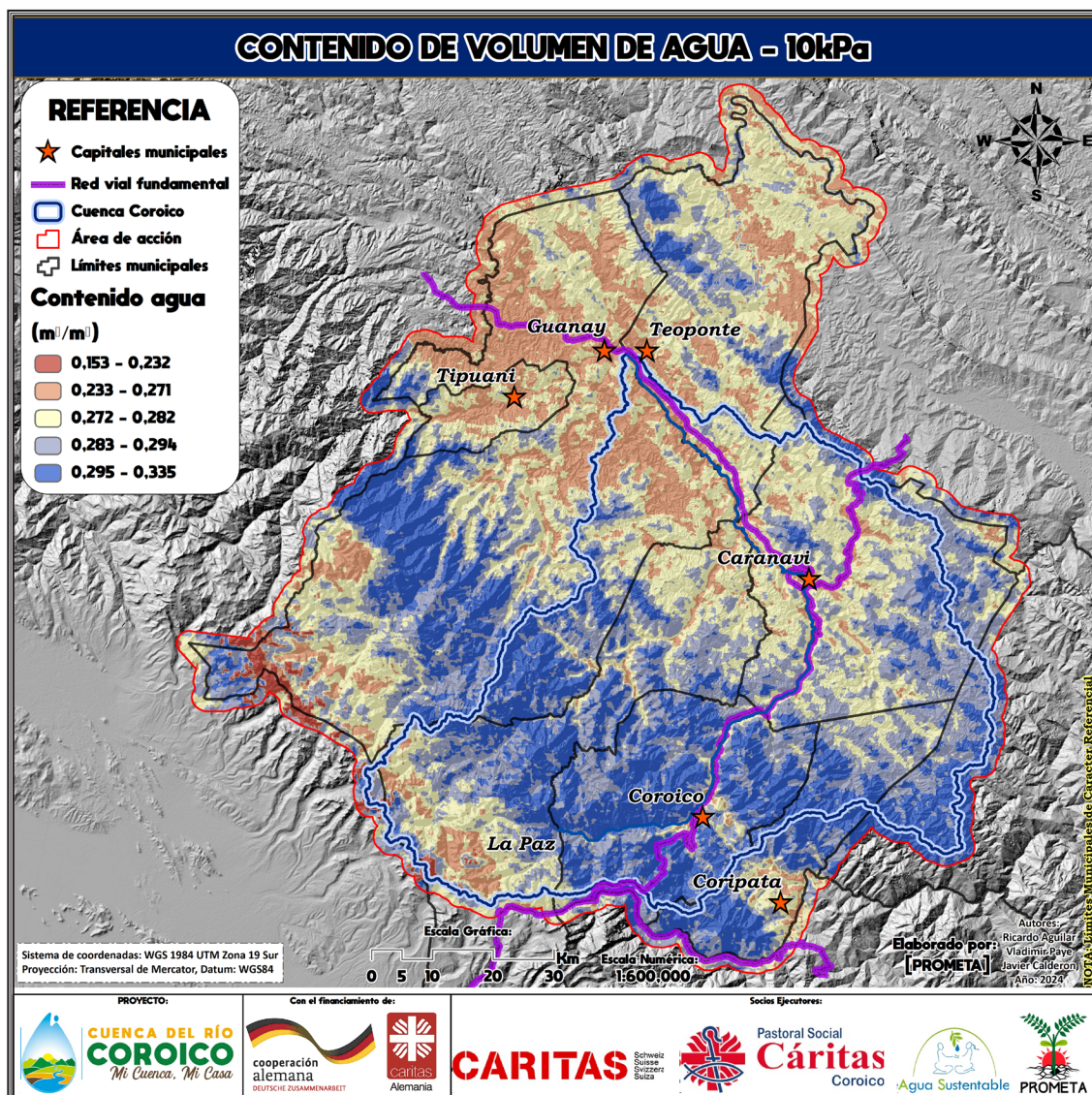
Fuente: Elaboración propia

Los suelos con un contenido de agua moderado (alrededor del 39%) a -10 kPa tienen una buena capacidad de retención de humedad, lo que permite almacenar suficiente agua disponible para las plantas sin sobresaturarse. En municipios como Coroico (39.45%), Caranavi (39.25%), Guanay (39.29%), Teoponte (39.46%) y Tipuani (39.38%), el contenido de agua es consistente, asegurando un buen balance entre retención y drenaje, ideal para cultivos como café, cacao y frutas tropicales.

La variabilidad en el contenido de agua entre los municipios es baja, lo que sugiere suelos homogéneos en términos de retención de agua. Las desviaciones estándar varían entre 0.78% y 1.32%, lo que facilita la zonificación agroecológica y la planificación del uso de agua y cultivos.

Con un contenido de agua a -10 kPa cercano al 39%, el riego puede mantenerse constante, evitando la saturación del suelo. Esto es ideal para cultivos como café y cacao, que requieren un equilibrio entre retención de agua y drenaje, evitando el encharcamiento. En áreas con más variabilidad, como Guanay y Nuestra Señora de La Paz, es necesario un manejo preciso del riego para asegurar una distribución adecuada de agua.

Municipios con contenido de agua moderado (alrededor del 39%) tienen suelos aptos para una amplia gama de cultivos. Estos suelos proporcionan un equilibrio favorable para el desarrollo de las raíces y el crecimiento de las plantas. Nuestra Señora de La Paz (39.65%) tiene una retención ligeramente superior, lo que beneficia a cultivos con mayor demanda hídrica, aunque se debe evitar el encharcamiento durante lluvias intensas.



Fuente: Elaboración propia

5.2.7 Capacidad de intercambio catiónico (a pH 7)

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) a pH 7 es un indicador crucial de la fertilidad del suelo, ya que mide la capacidad del suelo para retener y liberar cationes como el calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}), potasio (K^{+}), y sodio (Na^{+}), todos ellos nutrientes esenciales para las plantas.



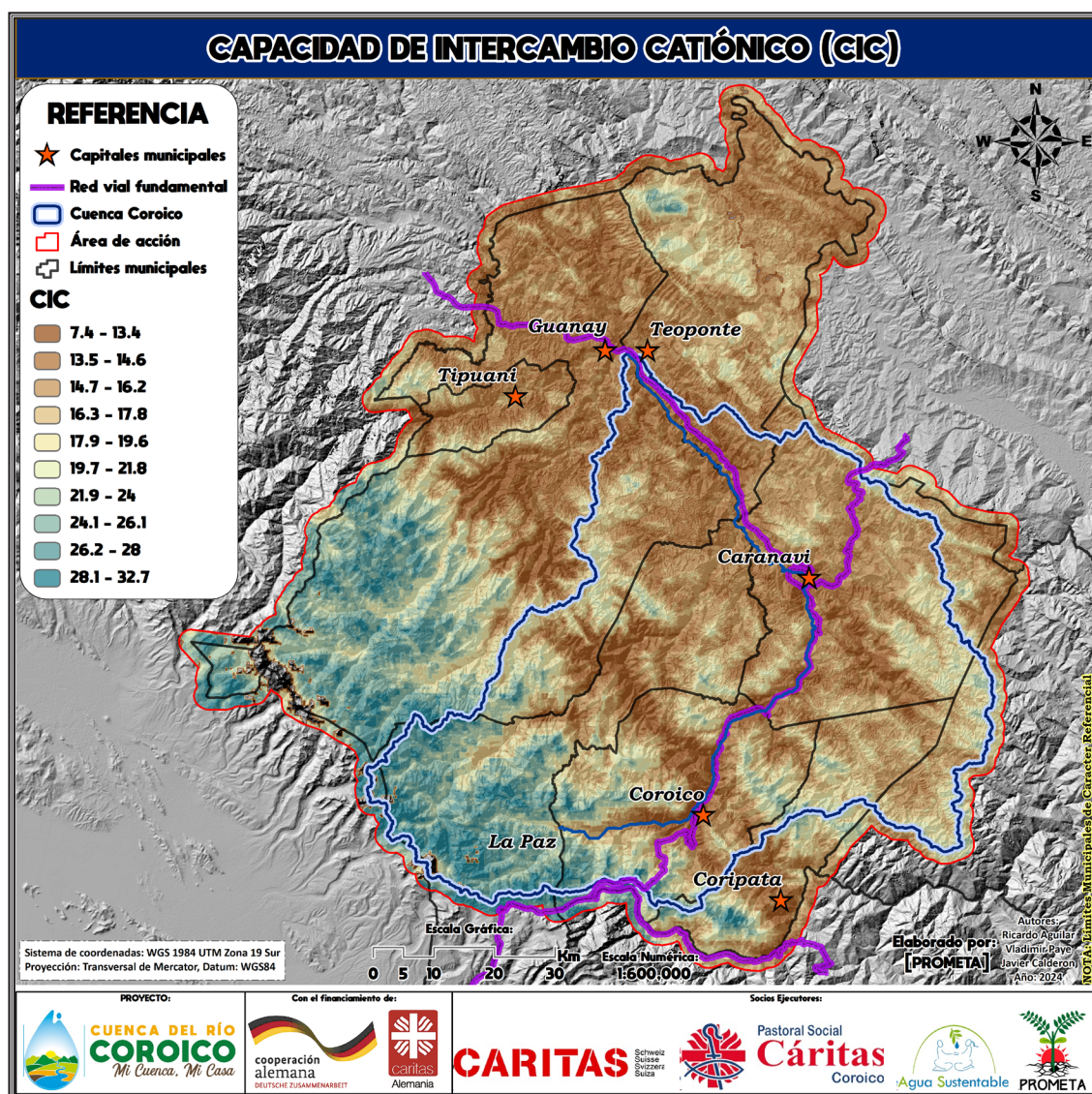
ID	MUNICIPIO	MIN	MAX	RANGE	MEDIA	STD	MEDIANA	PCT90
1	Coroico	7.3	31.5	24.2	17.1	4.4	16.2	23.8
2	Caranavi	10.5	22.5	12.0	14.5	1.9	14.1	17.4
3	Guanay	9.7	30.7	20.9	17.5	5.2	15.5	25.7
4	Teoponte	10.7	26.4	15.7	14.7	2.1	14.1	17.5
5	Tipuaní	10.6	20.6	9.9	13.9	1.8	13.3	16.5
6	Coripata	10.2	30.4	20.3	16.6	3.5	15.8	21.8
7	Nuestra Señora de La Paz	9.6	32.1	22.5	20.1	5.9	20.2	27.6

Fuente: Elaboración propia

Suelos con baja CIC (como en Tipuani, 13.85 cmol/kg, y Nuestra Señora de La Paz, 13.69 cmol/kg) tienen capacidad moderada para retener nutrientes, lo que los hace más susceptibles a la lixiviación, especialmente en áreas con lluvias intensas como los Yungas. Esto puede reducir la fertilidad del suelo con el tiempo. En suelos con CIC moderada, como Teoponte (14.66 cmol/kg) y Caranavi (14.48 cmol/kg), la capacidad de retención de nutrientes es suficiente, pero se recomienda mejorar la fertilidad con materia orgánica y fertilizantes para evitar la pérdida de nutrientes.

Suelos con alta CIC, como en Coroico, Guanay y Coripata, almacenan nutrientes durante más tiempo, reduciendo la necesidad de fertilización frecuente. Estos suelos son ideales para cultivos que requieren alta fertilidad, como café, cacao y frutas tropicales. En suelos con CIC moderada, como en Tipuani y Nuestra Señora de La Paz, se necesita un manejo más intensivo de fertilización para asegurar un suministro constante de nutrientes, aplicando fertilizantes en intervalos más cortos.

La incorporación de materia orgánica es clave en todos los municipios, ya que mejora la estructura del suelo y aumenta la CIC, ayudando a retener y liberar nutrientes de manera más eficiente. Municipios con mayor CIC, como Coroico, Guanay y Coripata, son ideales para cultivos que requieren suelos fértiles, mientras que Tipuani y Nuestra Señora de La Paz, con menor CIC, son adecuados para cultivos de menor demanda nutricional, pero requerirán fertilización regular y control de la lixiviación para mantener su productividad a largo plazo.



Fuente: Elaboración propia

5.2.8. Nitrógeno

El contenido de nitrógeno en los municipios de los Yungas de La Paz varía entre 23.70 mg/kg y 33.38 mg/kg, lo que refleja una fertilidad moderada a alta en la mayoría de los casos. Sin embargo, la variabilidad dentro de los municipios sugiere que se requiere un manejo específico de fertilización para maximizar el rendimiento agrícola en todas las áreas.

ID	MUNICIPIO	MIN	MAX	RANGE	MEDIA	STD	MEDIANA	PCT90
1	Coroico	19.2	59.0	39.8	33.4	4.7	33.6	38.2
2	Caranavi	18.1	50.8	32.7	26.6	3.9	26.2	31.4
3	Guanay	16.8	72.9	56.2	30.4	9.1	28.7	41.8
4	Teoponte	15.7	58.2	42.5	23.7	4.5	22.7	29.1
5	Tipuaní	16.8	43.5	26.8	24.0	4.9	22.9	31.9
6	Coripata	18.7	44.7	26.0	31.0	4.1	31.1	36.1
7	Nuestra Señora de La Paz	19.2	72.1	52.9	35.4	9.8	33.3	49.9

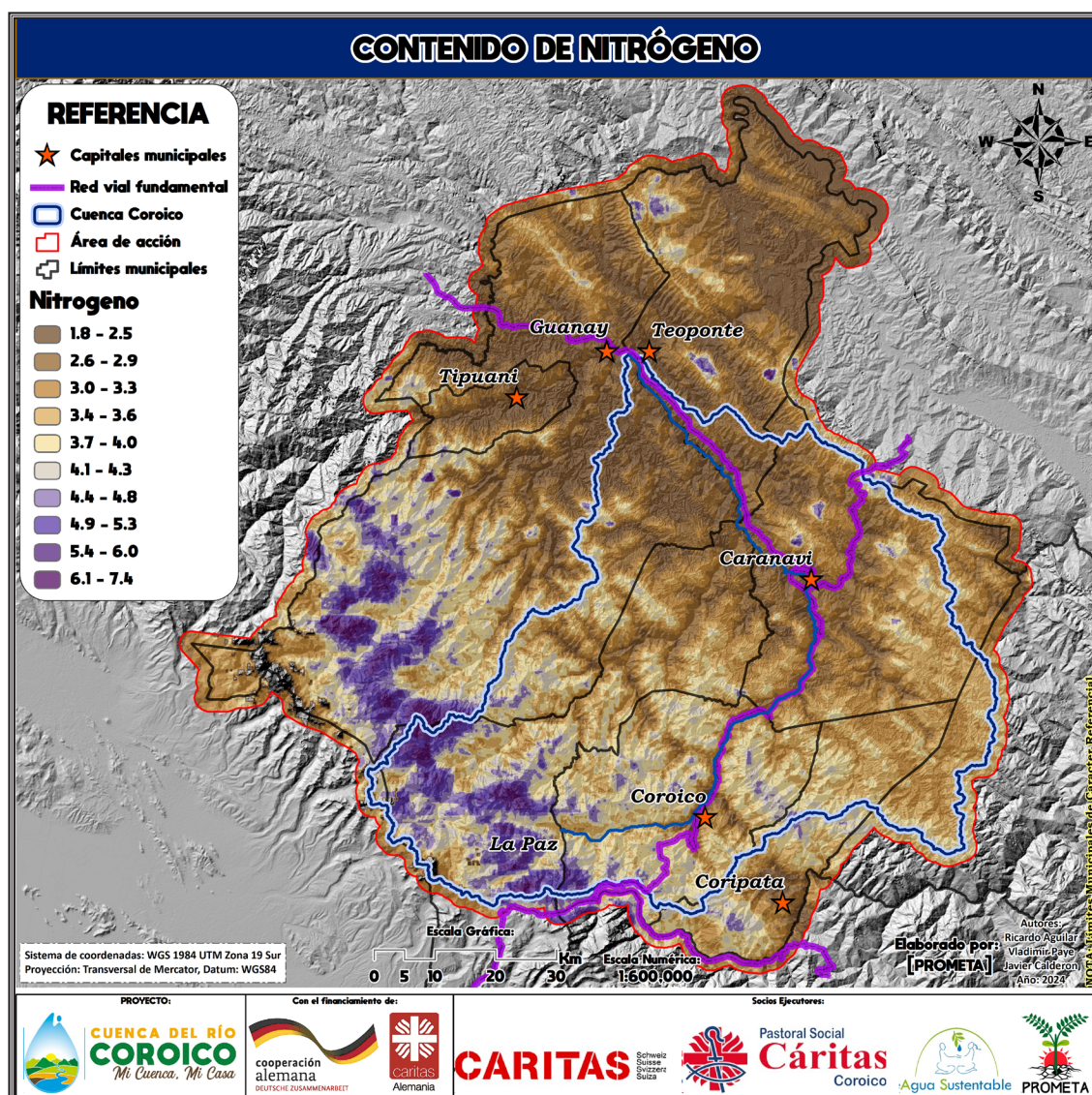
Fuente: Elaboración propia

Municipios con niveles altos de nitrógeno (Coroico, Guanay, Coripata): Estas áreas son ideales para cultivos de alta demanda de nitrógeno, como el café, el cacao, y frutas tropicales. Las prácticas de conservación del suelo y el manejo cuidadoso de la fertilización pueden ayudar a mantener estos niveles altos sin riesgo de lixiviación o pérdida de fertilidad.

Municipios con niveles moderados de nitrógeno (Caranavi, Teoponte, Tipuani, Nuestra Señora de La Paz): Estas áreas requerirán una fertilización más constante y probablemente necesitarán mayores aportes de materia orgánica para mejorar la estructura del suelo y la retención de nitrógeno. Estos municipios pueden ser zonificados para cultivos que toleren niveles medios de fertilidad, o bien se puede invertir en el manejo intensivo de suelos para aumentar los niveles de nitrógeno en zonas de cultivo de mayor valor.

Fuente: Elaboración propia





5.2.9. Carbono orgánico del suelo

El comportamiento del carbono orgánico del suelo (COS) es un factor clave en la zonificación agroecológica, porque influye directamente en la fertilidad del suelo, la retención de agua y la capacidad de los suelos para soportar cultivos a largo plazo.



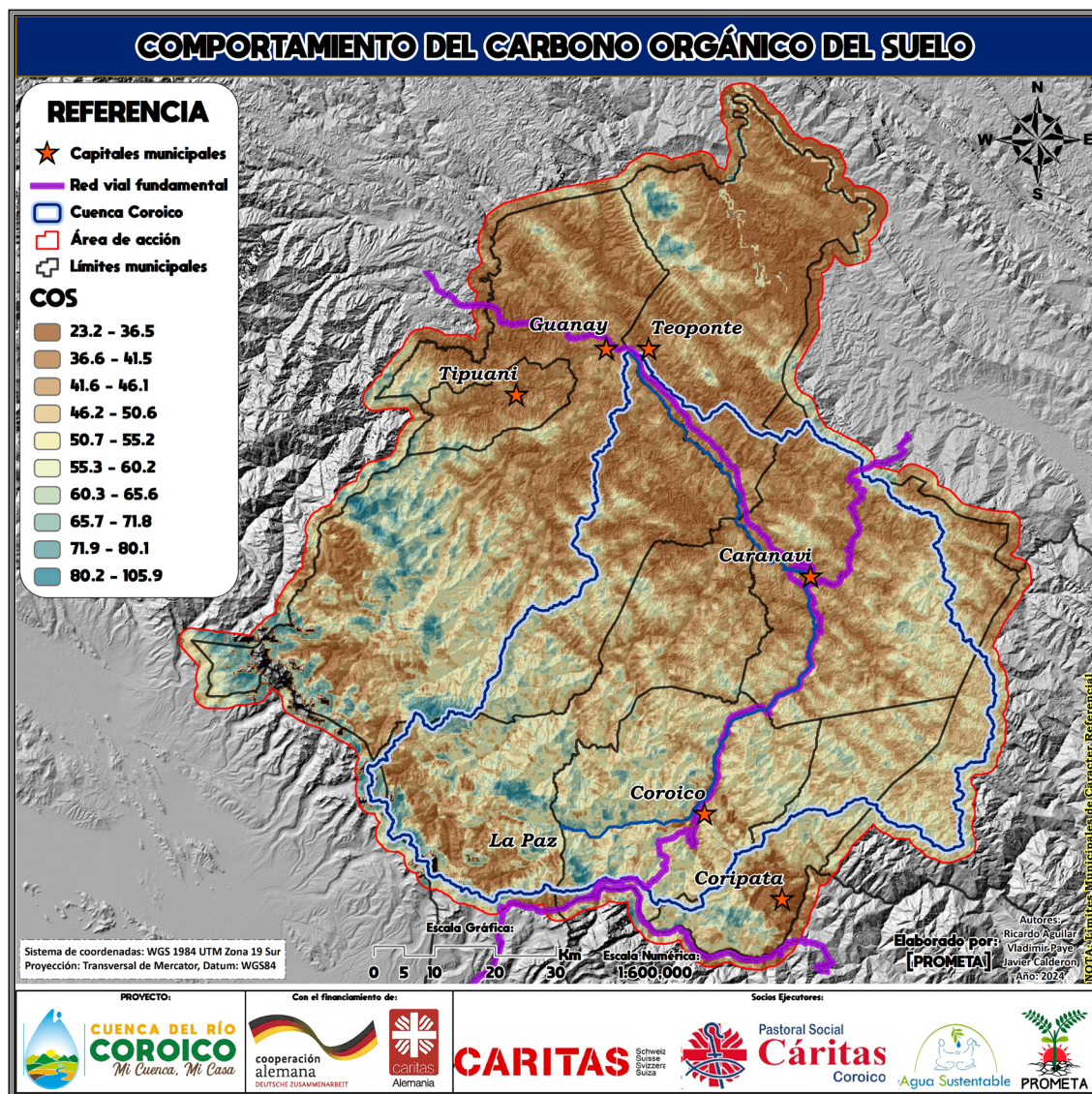
ID	MUNICIPIO	MIN	MAX	RANGE	MEDIA	STD	MEDIAN	PCT90
1	Coroico	23.52		52.21	46.54		46.38	53.33
2	Coripata	22.60		41.96	43.97		44.55	51.96
3	Tipuaní	26.32		43.54	38.10		36.57	46.02
4	Nuestra Señora de La Paz	26.50		57.81	43.87		42.81	54.13
5	Guanay	25.69		64.31	42.47		40.17	55.02
6	Teoponte	23.96		58.41	37.66		35.87	46.44
7	Caranavi	24.45		36.18	39.85		39.06	47.69

Fuente: Elaboración propia

Los suelos en los municipios de los Yungas tienen contenidos de carbono orgánico entre 37.66 g/kg y 45.57 g/kg, lo que indica una fertilidad moderada a alta. Municipios como Caranavi, Guanay, Tipuani y Nuestra Señora de La Paz tienen niveles superiores a 40 g/kg, siendo ideales para cultivos que requieren suelos fértiles. Coripata y Coroico, con niveles moderados, pueden beneficiarse de más materia orgánica para mejorar la retención de nutrientes y agua.

La baja variabilidad en municipios como Caranavi y Tipuani facilita el manejo agrícola, mientras que Guanay y Coripata, con mayor variabilidad, necesitan un manejo diferenciado para mejorar la productividad, posiblemente con más materia orgánica. Suelos con más de 40 g/kg de carbono tienen mejor estructura y resistencia a la erosión, siendo adecuados para prácticas de conservación. Municipios con menor contenido de carbono, como Coripata y Coroico, presentan mayor riesgo de erosión y deben implementar medidas de conservación.

Municipios con altos niveles de carbono orgánico, como Caranavi y Tipuani, son ideales para cultivos intensivos como café, cacao y frutas tropicales. Coripata y Teoponte, con niveles moderados, son aptos para cultivos de rendimiento medio, pero requieren suplementación. En Nuestra Señora de La Paz, las áreas más fértiles son aptas para cultivos exigentes en nutrientes, mientras que las áreas con menos carbono necesitan un manejo más intensivo.



Fuente: Elaboración propia

5.2.10. pH

El pH del suelo es crucial para la zonificación agroecológica, ya que influye en la disponibilidad de nutrientes, la salud del suelo, y el tipo de cultivos que pueden desarrollarse de manera óptima.

ID	MUNICIPIO	MIN	MAX	MEDIA	STD	MEDIANA	PCT90
1	Coroico	4.62	6.67	5.32	0.26	5.29	5.57
2	Caranavi	4.80	5.73	5.23	0.10	5.22	5.36
3	Guanay	4.82	6.75	5.46	0.48	5.25	6.39
4	Teoponte	4.78	5.80	5.31	0.14	5.31	5.49
5	Tipuaní	4.98	5.49	5.20	0.08	5.20	5.30
6	Coripata	4.93	6.12	5.32	0.19	5.30	5.58
7	Nuestra Señora de La Paz	4.82	6.76	5.71	0.58	5.50	6.49

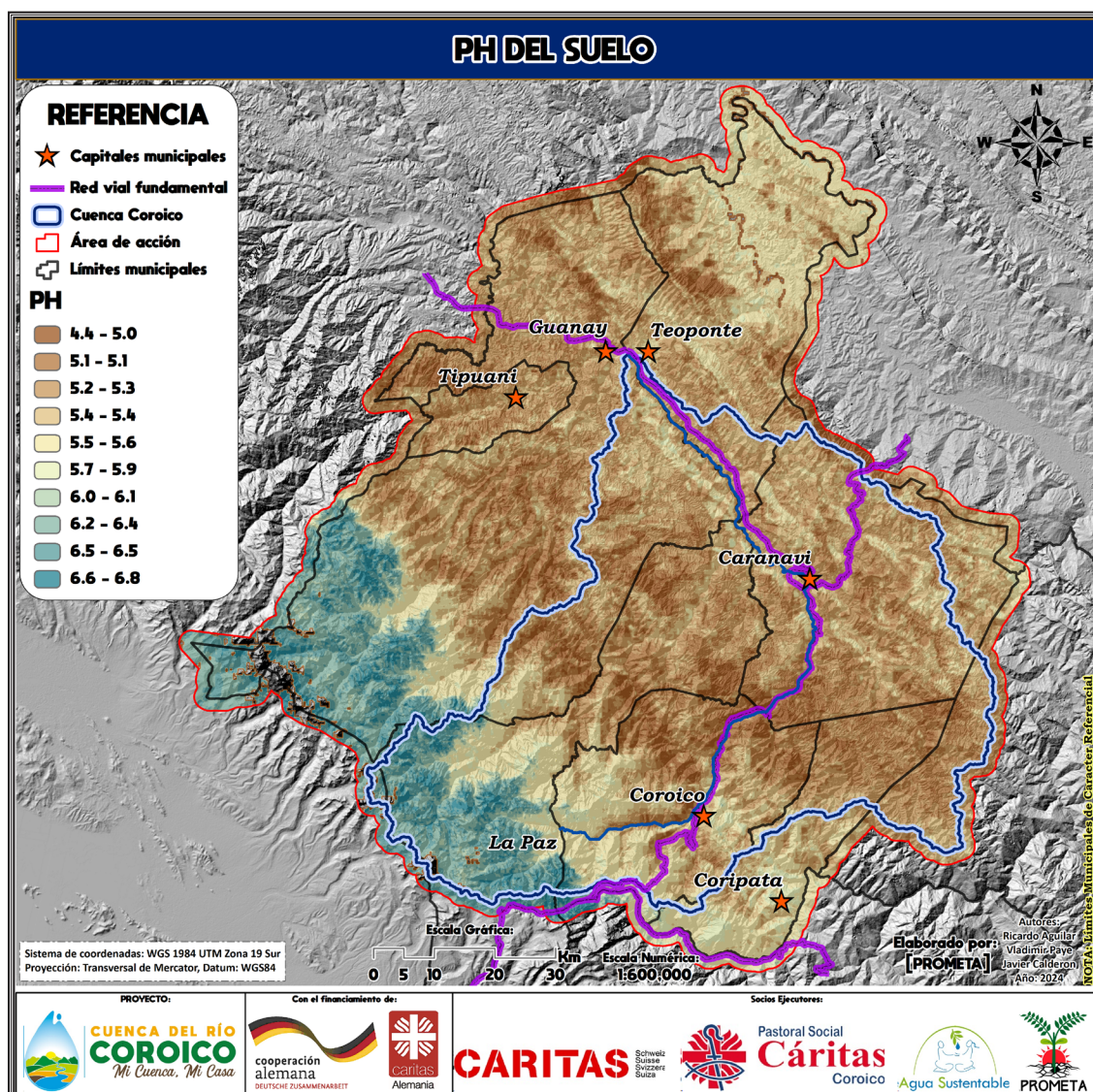
Fuente: Elaboración propia

El pH del suelo en los municipios de los Yungas varía entre 5.20 y 5.46, lo que indica suelos ligeramente ácidos, adecuados para cultivos tropicales como café, cacao y algunos frutales. Este rango de pH es común en regiones tropicales. Municipios como Caranavi, Tipuani, Coripata y Teoponte presentan baja variabilidad en el pH, lo que facilita la implementación de prácticas agrícolas homogéneas sin grandes ajustes.

Guanay y Nuestra Señora de La Paz muestran mayor variabilidad en el pH, con áreas más ácidas y otras cercanas a lo neutro. Esto sugiere que se necesitan ajustes localizados, como la aplicación de cal en zonas más ácidas para elevar el pH. Los suelos ácidos son más susceptibles a la erosión, por lo que, en áreas con pH bajo, especialmente en pendientes o suelos poco cohesionados, se deben aplicar prácticas de conservación como terrazas, barreras vegetales y cobertura vegetal.

Los suelos ligeramente ácidos (pH entre 5.2 y 5.5) son ideales para cultivos como café, cacao y banano, pero algunos cultivos sensibles pueden necesitar corrección del pH. Municipios como Guanay (pH 5.46) y Nuestra Señora de La Paz (pH 5.45), con suelos más cercanos a lo neutro, permiten una mayor diversidad de cultivos y una mejor disponibilidad de nutrientes.





Fuente: Elaboración propia

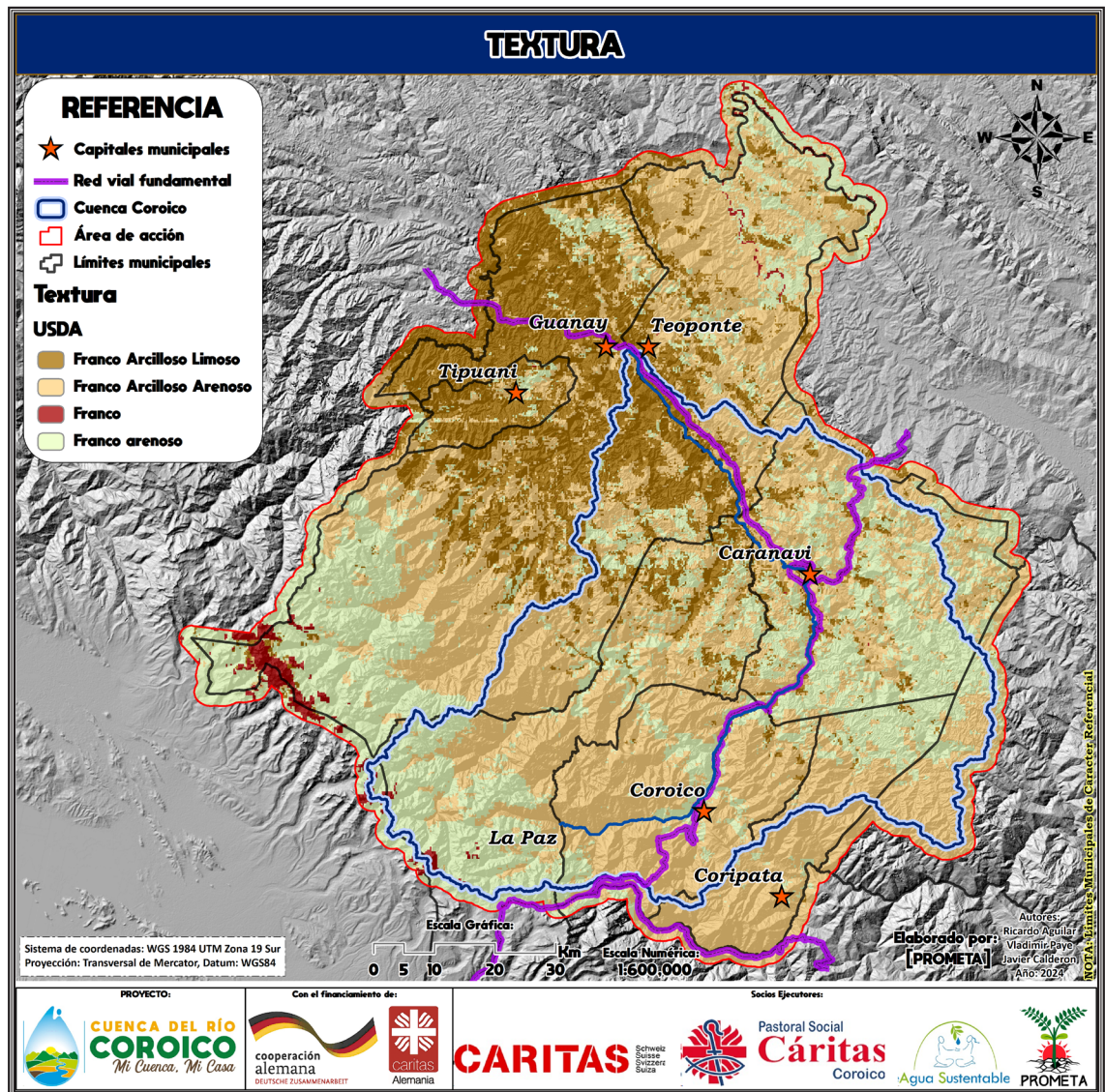
5.2.11. Textura

Los suelos franco arcilloso arenoso, presentes en municipios como Coroico, Caranavi, Guanay, Teoponte y Tipuaní, tienen buen drenaje, pero una menor retención de nutrientes y agua. Estos suelos son más vulnerables a la erosión, especialmente en áreas con pendiente. Riesgo de erosión: Moderado a alto, especialmente en zonas con alta pluviosidad. Se recomienda implementar prácticas de conservación, como terrazas y cobertura vegetal, para evitar la pérdida de suelo. Potencial de cultivo: Estos suelos son ideales para cultivos que toleran suelos bien drenados, como ciertos frutales y hortalizas. Sin embargo, se requerirá un manejo cuidadoso para mejorar la fertilidad del suelo y mantener el rendimiento de los cultivos.

El franco arcilloso es el tipo de suelo predominante en la mayoría de los municipios, como Coroico, Caranavi, Guanay, Teoponte, Coripata y Nuestra Señora de La Paz. Estos suelos tienen buena retención de agua y nutrientes, lo que los hace altamente fértiles

y aptos para la mayoría de los cultivos tropicales. Riesgo de erosión: Bajo a moderado, ya que estos suelos tienen una buena cohesión estructural. Sin embargo, en áreas con pendiente pronunciada, se recomienda mantener prácticas de conservación del suelo para evitar la erosión. Potencial de cultivo: Los suelos franco arcillosos son ideales para cultivos de alto valor, como café, cacao y frutales tropicales, gracias a su capacidad de retener agua y nutrientes de manera eficiente. Estos suelos ofrecen un gran potencial agrícola en la región.

Los suelos francos, presentes en menor proporción en los municipios de Coroico, Caranavi, Guanay, Teoponte, Tipuaní y Coripata, ofrecen un buen equilibrio entre retención de agua y drenaje. Estos suelos tienen una mezcla adecuada de arena, limo y arcilla, lo que los hace versátiles para una amplia gama de cultivos. Riesgo de erosión: Moderado, ya que estos suelos tienen suficiente cohesión para resistir la erosión, aunque el riesgo puede aumentar en pendientes pronunciadas. Potencial de cultivo: Los suelos francos son aptos para una diversidad de cultivos, desde frutales hasta hortalizas, debido a su capacidad equilibrada para retener nutrientes y drenar el exceso de agua.



Fuente: Elaboración propia



5.3. Clima

5.3.1. Precipitación durante la estación de crecimiento (GSP) KgPP/m²

La precipitación durante la estación de crecimiento en los municipios analizados oscila entre 1964 kgPP/m² y 2740 kgPP/m². En el área de acción presentan niveles de precipitación que van de moderados a altos, lo cual es favorable para la agricultura tropical.

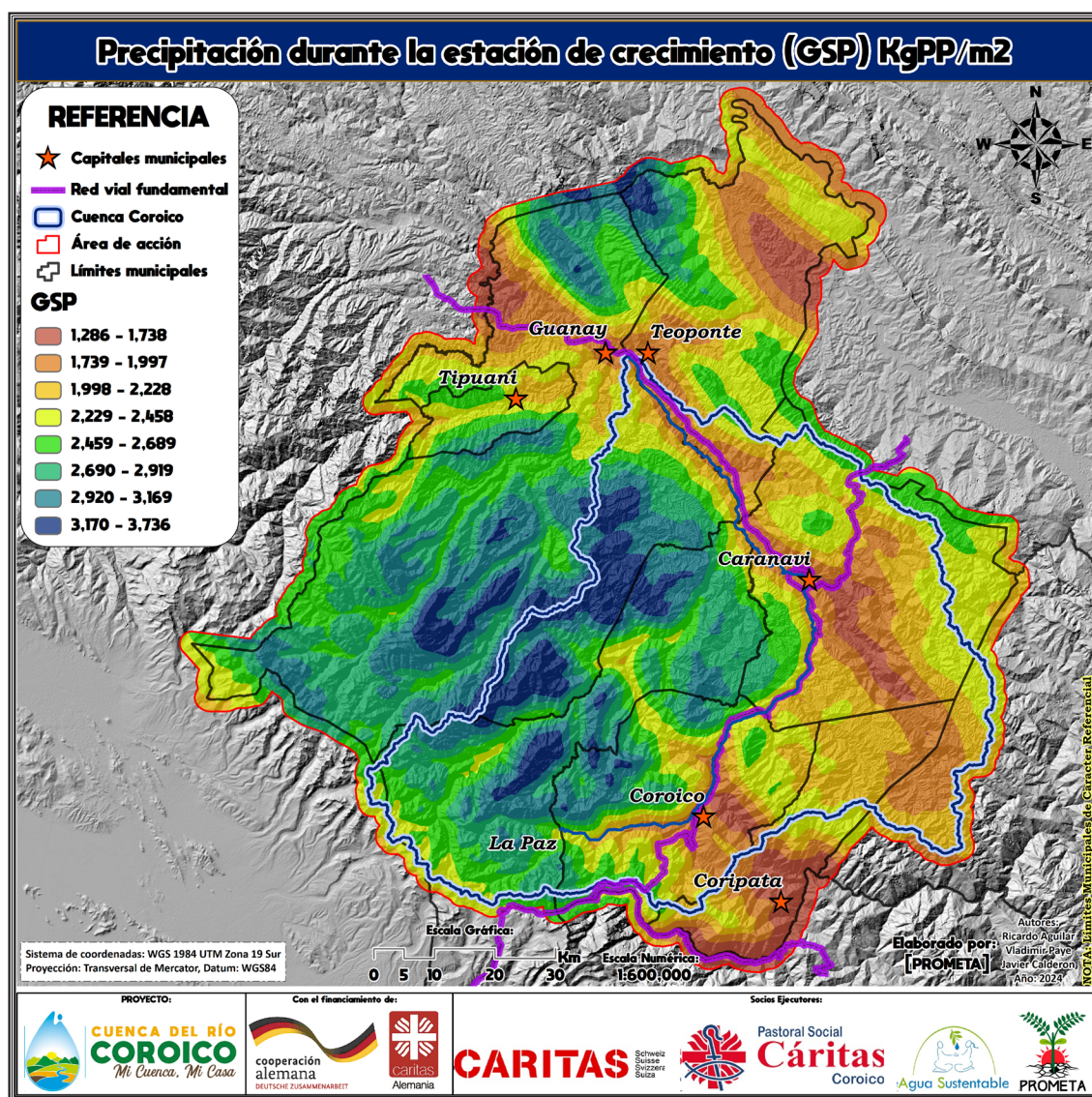
Municipios como Caranavi y Tipuani muestran una distribución más uniforme de las lluvias, facilitando la planificación agrícola. Guanay y Nuestra Señora de La Paz presentan mayor variabilidad, lo que implica diferencias significativas en la cantidad de lluvia entre diferentes áreas dentro del mismo municipio.

La alta precipitación, especialmente en zonas con pendientes pronunciadas, incrementa el riesgo de erosión en todos los municipios. Guanay y Nuestra Señora de La Paz tienen un riesgo de erosión más elevado debido a la alta variabilidad y cantidad de precipitación.

Coripata y Teoponte también presentan riesgo en áreas con mayor pendiente. La abundante precipitación favorece el cultivo de plantas tropicales que requieren mucha agua. Café y cacao: Especialmente en Coroico, Caranavi y Coripata, donde la precipitación es suficiente y la variabilidad es menor. Plátano y arroz: Adecuados para Guanay, Tipuani y Nuestra Señora de La Paz, donde la precipitación es más alta. Frutales tropicales: Como mango, papaya y cítricos, pueden prosperar en todos los municipios con manejo adecuado.

ID	MUNICIPIO	MIN	MAX	MEDIA	STD	MEDIANA	PCT90
1	Coroico	1558.80	3271.19	2389.54	371.96	2375.58	2921.87
2	Caranavi	1639.56	2813.28	2178.26	255.56	2206.80	2497.49
3	Guanay	0.00	3717.09	2687.53	468.51	2740.14	3222.07
4	Teoponte	1567.49	3272.09	2214.37	346.80	2193.65	2654.12
5	Tipuaní	2054.92	3036.68	2456.01	230.59	2421.27	2812.43
6	Coripata	1305.05	2562.63	1964.49	269.95	2022.96	2280.47
7	Nuestra Señora de La Paz	0.50	3541.92	2740.22	356.84	2777.59	3136.80

Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

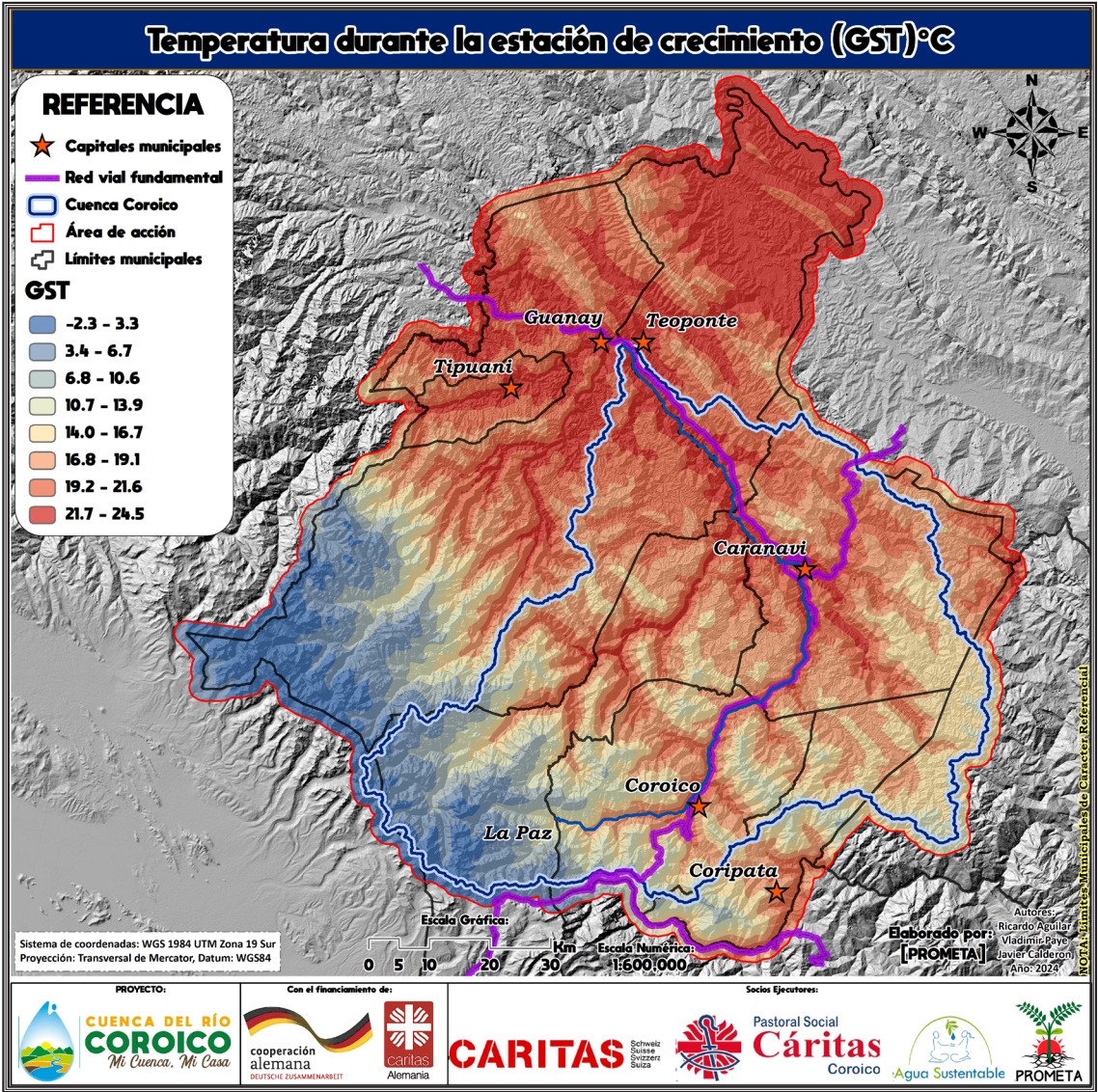
5.3.2. Temperatura durante la estación de crecimiento (GST)°C

Condiciones térmicas favorables: Todos los municipios estudiados presentan temperaturas moderadas a cálidas, con rangos que oscilan entre 15°C y 24°C. Estas temperaturas son ideales para una variedad de cultivos tropicales y subtropicales, con un fuerte enfoque en productos de alto valor como el café, cacao y frutales tropicales. La baja variabilidad de las temperaturas en la mayoría de los municipios permite una producción agrícola predecible, lo que facilita la planificación y el manejo de cultivos. Los municipios con mayor variabilidad térmica, como Guanay, requieren un manejo más cuidadoso para estabilizar las fluctuaciones mediante prácticas de manejo de microclimas. La temperatura no influye directamente en el riesgo de erosión, la vegetación densa favorecida por las temperaturas cálidas ayuda a proteger el suelo. Sin embargo, en áreas con pendientes pronunciadas o donde la cobertura vegetal es menor, el riesgo de erosión puede aumentar, y es necesario aplicar técnicas de conservación del suelo como terrazas y sistemas de drenaje adecuados. Áreas más frías (15-19°C): Son ideales para

cultivos de altura como el café de alta calidad, que prospera en climas moderadamente frescos. Áreas más cálidas (19-24°C): Presentan un excelente potencial para cultivos tropicales, incluyendo cacao, plátano, frutales tropicales y otros productos de alto valor.

ID	MUNICIPIO	MIN	MAX	MEAN	STD	MEDIAN	PCT90
1	Coroico	3.70	21.64	15.54	3.22	15.95	19.41
2	Caranavi	14.15	23.94	18.80	1.98	18.77	21.43
3	Guanay	1.02	24.15	15.88	6.60	18.55	22.14
4	Teoponte	16.08	24.45	21.82	1.92	22.21	24.00
5	Tipuaní	16.11	24.04	20.80	1.62	20.84	22.88
6	Coripata	7.97	21.21	15.84	2.49	16.21	18.81
7	Nuestra Señora de La Paz	1.42	23.85	12.24	6.63	13.27	20.39

Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

5.3.3. Humedad relativa de superficie (HRS) %

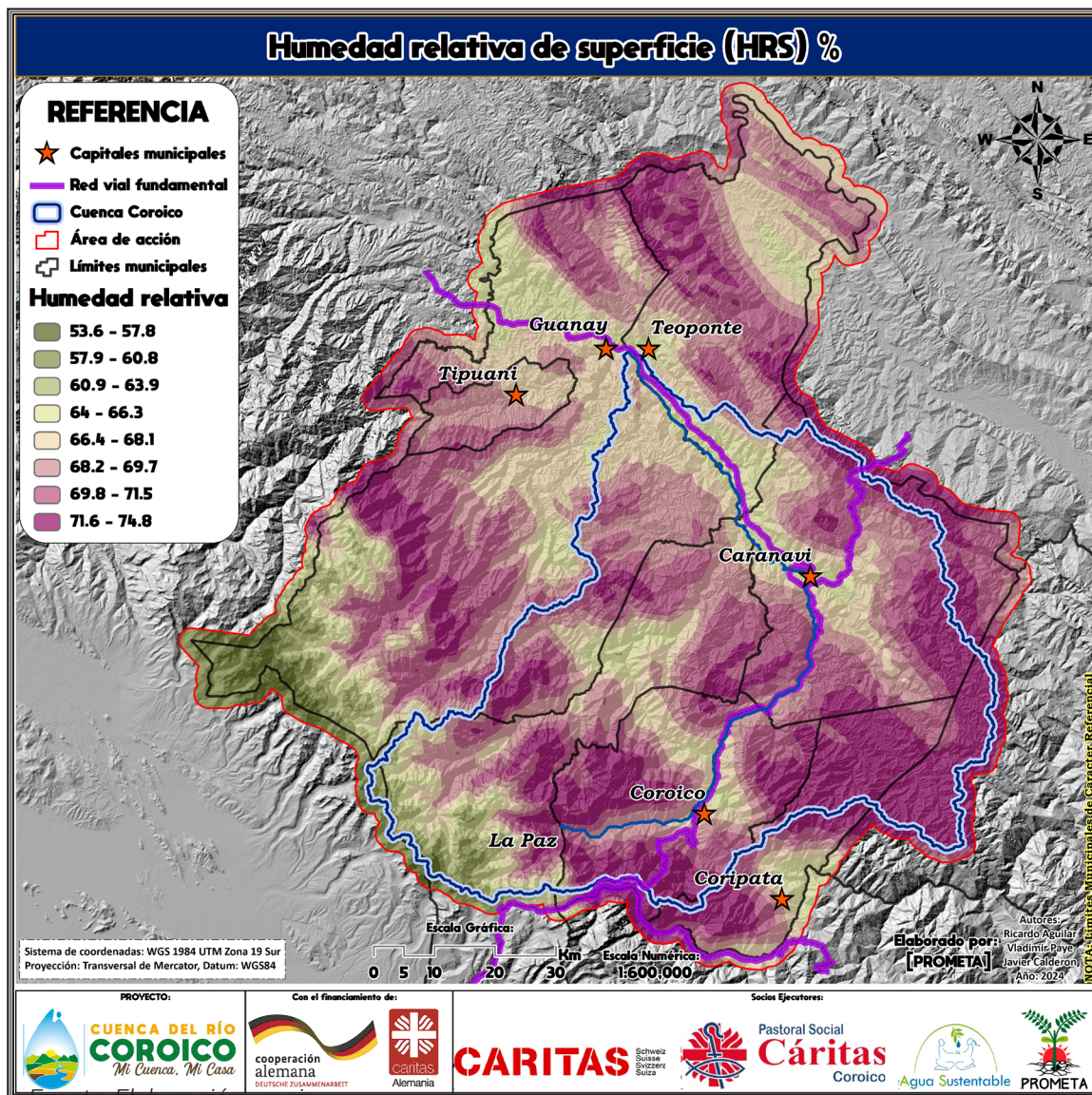
Los municipios analizados presentan un rango de humedad relativa de superficie (HRS) moderado a alto, con medias entre 67% y 70%, lo que es favorable para una amplia variedad de cultivos tropicales, como el café, cacao y frutales tropicales. La baja variabilidad de la humedad a lo largo del año en la mayoría de los municipios indica condiciones estables que favorecen una agricultura predecible, especialmente en zonas como Caranavi, Teoponte y Tipuaní.

Las áreas con humedad superior al 70%, como las de Coroico, Caranavi y Teoponte, son ideales para cultivos que requieren altos niveles de humedad, como el cacao, plátano y frutales tropicales. Por otro lado, las áreas con humedad inferior al 70% demandan una gestión adicional del agua, por lo que se recomienda el uso de técnicas de conservación de humedad como cobertura vegetal y riego suplementario, especialmente para cultivos sensibles al estrés hídrico.

La alta humedad favorece el crecimiento de vegetación que ayuda a proteger contra la erosión, aunque las zonas de pendiente siguen siendo vulnerables. Por ello, es esencial aplicar prácticas de conservación del suelo, como terrazas y barreras vivas, y gestionar adecuadamente el agua en municipios con terrenos montañosos, como Coroico, Teoponte y Nuestra Señora de La Paz. En general, todos los municipios ofrecen condiciones óptimas para cultivos tropicales, con un alto potencial de rendimiento si se implementan prácticas adecuadas de manejo del suelo y agua.

ID	MUNICIPIO	MIN	MAX	MEDIA	STD	MEDIANA	PCT90
1	Coroico	63.57	74.54	70.39	2.12	70.71	73.02
2	Caranavi	64.78	73.34	69.83	1.95	70.20	72.11
3	Guanay	54.10	73.84	68.15	3.18	68.67	71.34
4	Teoponte	64.20	73.85	68.93	2.15	69.13	71.65
5	Tipuaní	66.41	71.53	68.69	1.25	68.47	70.58
6	Coripata	64.24	74.57	70.95	2.12	71.75	72.84
7	Nuestra Señora de La Paz	54.04	73.64	67.69	3.56	68.61	71.45

Fuente: Elaboración propia

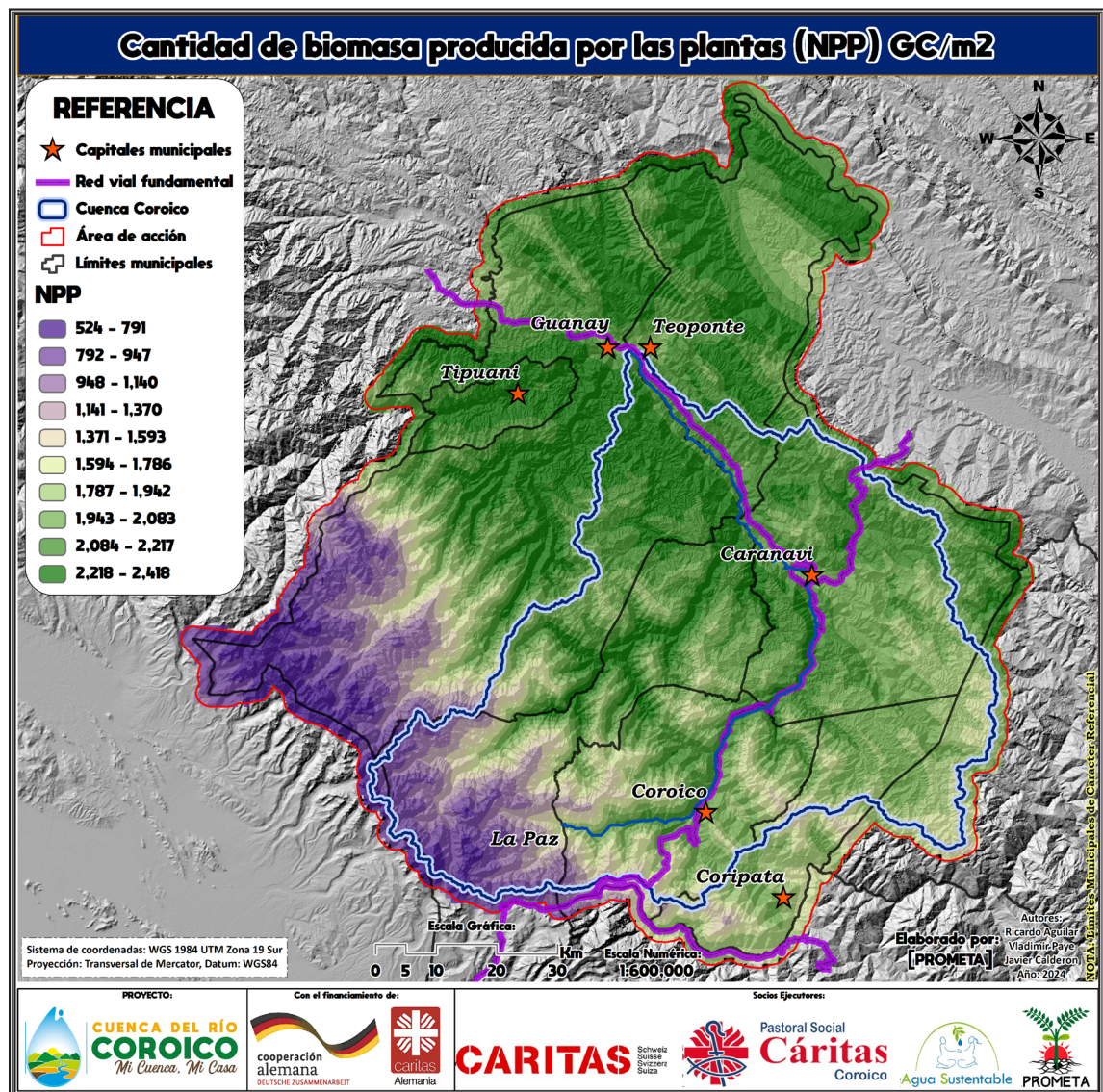


Fuente: Elaboración propia

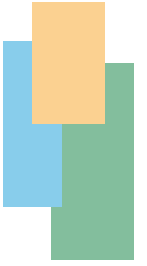
5.3.4. Cantidad de biomasa producida por las plantas (NPP) GC/m²

Los municipios como Caranavi, Teoponte, Tipuani presentan una alta producción de biomasa con poca variabilidad, lo que los hace ideales para la agricultura intensiva de cultivos tropicales de alto valor como el cacao, el plátano, y otros frutales tropicales. Municipios como Coroico y Guanay tienen una producción de biomasa moderada, lo que indica un potencial agrícola aceptable, aunque en algunas áreas puede requerirse manejo adicional del suelo. Coripata y Nuestra Señora de La Paz tienen una producción de biomasa más baja, lo que limita la capacidad agrícola de estas regiones. En estas áreas es clave implementar prácticas de mejora de la fertilidad del suelo y manejo sostenible. Las áreas con alta producción de biomasa tienen una vegetación densa que protege el suelo contra la erosión. Sin embargo, en todos los municipios con terrenos montañosos, se deben implementar prácticas de conservación del suelo para evitar la erosión por escorrentía. En municipios con baja biomasa como Nuestra Señora de La Paz, es fundamental fortalecer la cobertura vegetal y aplicar técnicas como terrazas, barreras

naturales y prácticas de manejo del agua para minimizar la pérdida de suelo. Municipios con alta NPP como Caranavi, Tipuani y Teoponte tienen un gran potencial agrícola para cultivos intensivos como cacao, café y frutales tropicales. La baja variabilidad en la biomasa favorece la estabilidad de los rendimientos agrícolas. En Coroico y Guanay, se recomienda manejar las áreas menos productivas con técnicas de rotación de cultivos y fertilización para mantener el rendimiento agrícola. Coripata y Nuestra Señora de La Paz deben enfocarse en mejorar la fertilidad del suelo en áreas menos productivas, utilizando abonos y técnicas de conservación de nutrientes para asegurar la sostenibilidad agrícola a largo plazo.



Fuente: Elaboración propia



5.4. Identificación de las unidades de zonificación agroecológica

La zonificación agroecológica corresponde a diferentes tipos de uso de suelo que están ligados a las actividades productivas, conservación del medio ambiente y capacidades naturales del territorio. Se ha identificado 5 unidades esenciales en base a la zonificación nacional realizada por la Unidad de Ordenamiento Territorial del Ministerio de Planificación del Desarrollo en el año 2002 a escala 1:1000000:

- Agrosilvopastoril
- Agrosilvopastoril de Uso Limitado
- Ganadero Extensivo
- Forestal
- Forestal de Uso Limitado

5.4.1. Agrosilvopastoril

El sistema agrosilvopastoril combina la agricultura, la ganadería y los árboles en un mismo terreno. Esta zonificación promueve el uso integrado de cultivos agrícolas, pasturas para el ganado y especies arbóreas o forestales, generando múltiples beneficios:

- Mejora la productividad del suelo al diversificar los ingresos con la producción agrícola, ganadera y forestal.
- Aumenta la biodiversidad, proporcionando sombra al ganado y mejorando la fertilidad del suelo con el aporte orgánico de los árboles.
- Conserva los recursos naturales, previene la erosión y mejora el ciclo hidrológico.

5.4.2. Agrosilvopastoril de Uso Limitado

Es una variante del sistema agrosilvopastoril, pero con restricciones en el uso intensivo de los recursos. Se enfoca en áreas donde el potencial productivo es más bajo o el ambiente es más vulnerable, como zonas con limitaciones por suelos pobres o condiciones climáticas adversas. En este sistema, las actividades agrícolas y ganaderas se realizan de manera más controlada para:

- Evitar la degradación del suelo y preservar la biodiversidad.
- Establecer prácticas de manejo sostenible, como cultivos de bajo impacto, pastoreo controlado y reforestación estratégica.
- Asegurar la recuperación del suelo y evitar el agotamiento de los recursos.

5.4.3. Ganadero Extensivo

El sistema ganadero extensivo se caracteriza por la crianza de ganado en grandes extensiones de terreno con baja densidad de animales por hectárea. Este tipo de zonificación se aplica en áreas donde la productividad agrícola es baja, y el uso de grandes superficies para el pastoreo es más viable:

- Uso de pastizales naturales o seminaturales sin la necesidad de fertilizantes o riego.
- Bajo impacto ambiental, aunque el mal manejo puede llevar a la degradación de pastizales y erosión del suelo.
- Es importante aplicar rotación de potreros y prácticas de conservación del suelo para evitar la compactación y sobrepastoreo.

5.4.4. Forestal

El sistema forestal se refiere a la zonificación destinada a la producción de madera, resinas, fibras u otros productos forestales en áreas donde la conservación de la cobertura boscosa es prioritaria. En esta zonificación, las actividades están orientadas a:

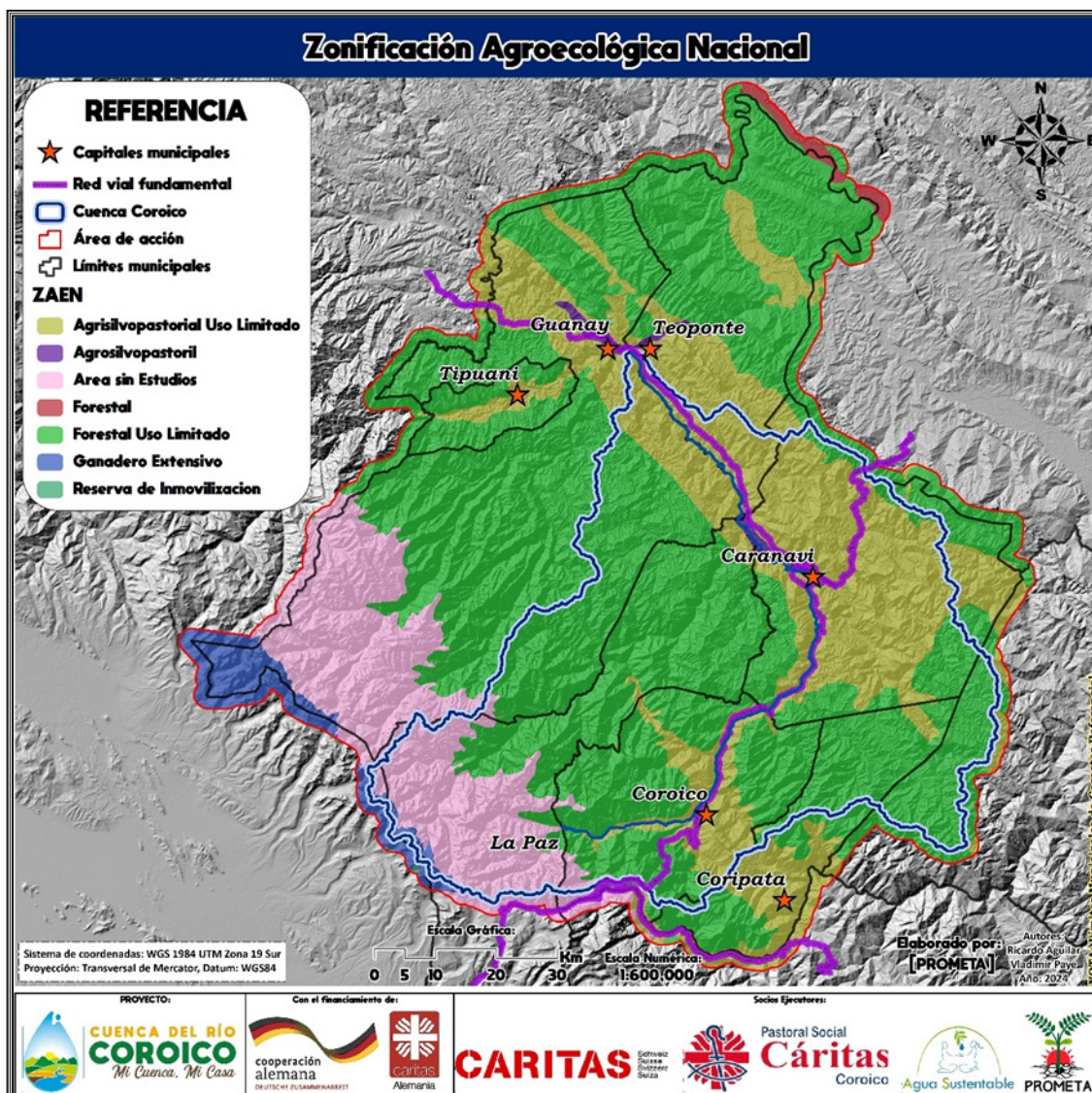
- Manejo sostenible de los bosques para la explotación de recursos forestales sin degradar los ecosistemas.
- Promover la reforestación y recuperación de suelos degradados.
- Mantener la biodiversidad y los servicios ambientales, como la regulación del ciclo del agua, la captura de carbono y la conservación de la fauna.

5.4.5. Forestal de Uso Limitado

Este tipo de zonificación forestal es más restrictiva y se implementa en áreas ecológicamente frágiles o con un alto valor ambiental. Las actividades están limitadas para asegurar la conservación de los ecosistemas y evitar su deterioro. En este tipo de zonificación:

- Se permiten actividades forestales controladas, como reforestación, silvicultura de bajo impacto o cosecha limitada de productos forestales no maderables.
- Se priorizan los esfuerzos de conservación y restauración ambiental, reduciendo el impacto humano en zonas sensibles.
- Su propósito principal es preservar la función ecológica de los bosques, proteger la biodiversidad y evitar la erosión del suelo.





Fuente: Elaboración propia

5.5. Sistematización de la información

Se ha realizado la sistematización de la información identificando los rangos de idoneidad para cada zona agroecológica, respecto de cada variable pendiente, suelo y clima,

Agrisilvopastoril					Forestal					Ganadería extensiva				
Agrisilvopastoril de uso limitado					Forestal de Uso Limitado									
Pendiente (%)	Reclasificación	Aptitud	ZAE		Pendiente (%)	Reclasificación	Aptitud	ZAE		Pendiente (%)	Reclasificación	Aptitud	ZAE	
0-30	5	Muy alto	Agrisilvopastoril		0-15	5	Muy alto	Forestal		0-5	5	Muy alto	Ganadería extensiva	
30-52	4	Alto	Agrisilvopastoril de uso limitado		15-30	4	Alto	Forestal de Uso Limitado		5-10	4	Alto		
52-61	3	Medio			30-50	3	Medio			10-20	3	Medio		
61-70	2	Bajo			50-77.5	2	Bajo			20-30	2	Bajo		
70-308.8	1	Muy Bajo			77-308.8	1	Muy bajo			30-308.8	1	Muy bajo		
Textura	Reclasificación	Aptitud	ZAE		Textura	Reclasificación	Aptitud	ZAE		Textura	Reclasificación	Aptitud	ZAE	
Franco arcilloso arenoso	3	Bajo			4 Franco arcilloso arenoso	3	Bajo			4 Franco arcilloso arenoso	3	Bajo		
Franco arcilloso	4	Alto	Agrisilvopastoril de uso limitado		5 Franco arcilloso	4	Medio	Forestal		5 Franco arcilloso	4	Medio		
Franco	5	Muy alto	Agrisilvopastoril		8 Franco	5	Muy alto	Forestal de Uso Limitado		8 Franco	5	Muy alto		
Grava (%)	Reclasificación	Aptitud	ZAE		Grava (%)	Reclasificación	Aptitud	ZAE		Grava (%)	Reclasificación	Aptitud	ZAE	
2-6-9	5	Muy alto	Agrisilvopastoril		2-86-8	5	Muy alto	Forestal		2-86-7-78	5	Muy alto	Ganadería extensiva	
9-15	4	Alto	Agrisilvopastoril de uso limitado		8-12	4	Alto	Forestal de Uso Limitado		7-78-9-36	4	Alto		
15-21	3	Medio			12-20	3	Medio			9-36-11-9	3	Medio		
21-30	2	Bajo			20-30	2	Bajo			11-90-17-61	2	Bajo		
30-43,6	1	Muy bajo			30-43,3	1	Muy bajo			17-61-43-31	1	Muy bajo		



Densidad aparente kg/dm ³	Reclasificación	Aptitud	ZAE	Densidad aparente kg/dm ³	Reclasificación	Aptitud	ZAE	Densidad aparente kg/dm ³	Reclasificación	Aptitud	ZAE
0.93-1.02	1	Muy baja		0.93-1.081	1	Muy bajo		0.93-1.08	1	Muy bajo	
1.02-1.06	2	Baja		1.081-1.114	2	Bajo		1.08-1.11	2	Bajo	
1.06-1.08	3	Media		1.114-1.141	3	Medio		1.11-1.141	3	Medio	
1.08-1.1	4	Alta	Agrosilvopast oril de uso limitado	1.141-1.167	4	Alto	Forestal de Uso Limitado	1.141-1.167	4	Alto	
1.1-1.34	5	Muy alta	Agrosilvopast oril	1.167-1.335	5	Muy alto	Forestal		5	Muy alto	Ganadería extensiva
Contenido de volumen de agua - 10kPa	Reclasificación	Aptitud	ZAE	Contenido de volumen de agua - 10kPa	Reclasificación	Aptitud	ZAE	Contenido de volumen de agua - 10kPa	Reclasificación	Aptitud	ZAE
32.17-38.27	1	Muy baja		32.17-38.24	1	Muy bajo		32.17-34	1	Muy bajo	
38.27-38.97	2	Baja		38.24-38.95	2	Bajo		34-36	2	Bajo	
38.97-39.55	3	Media		38.95-39.52	3	Medio		36-38	3	Medio	
39.55-40.18	4	Alta	Agrosilvopast oril de uso limitado	39.52-40.18	4	Alto	Forestal de Uso Limitado	38-40	4	Alto	
40.18-44.27	5	Muy alta	Agrosilvopast oril	40.18-44.26	5	Muy alto	Forestal	40-44.26	5	Muy alto	Ganadería extensiva
Capacidad de intercambio catiónico cmol(c)/kg	Reclasificación	Aptitud	ZAE	Capacidad de intercambio catiónico cmol(c)/kg	Reclasificación	Aptitud	ZAE	Capacidad de intercambio catiónico cmol(c)/kg	Reclasificación	Aptitud	ZAE
7.01-15	1	Muy baja		7.33-11	1	Muy bajo		7.33-10	1	Muy bajo	
15-17	5	Muy alta	Agrosilvopast oril	11-15	2	Bajo		10-15	2	Bajo	
17-20	4	Alta	Agrosilvopast oril de uso limitado	15-20	3	Medio		15-20	3	Medio	
20-24.96	3	Media		20-26	4	Alto	Forestal de Uso Limitado	20-25	4	Alto	
24.96-33.01	2	Baja		26-33	5	Muy alto	Forestal	25-32.83	5	Muy alto	Ganadería extensiva



Nitrógeno g/kg	Reclasificación	Aptitud	ZAE	Nitrógeno g/kg	Reclasificación	Aptitud	ZAE	Nitrógeno g/kg	Reclasificación	Aptitud	ZAE	Nitrógeno g/kg	Reclasificación	Aptitud	ZAE
15-21.3	1	Muy baja		15.06-21.86	1	Muy bajo		15.06-20	1	Muy bajo					
21.3-23.87	2	Baja		21.86-24.93	2	Bajo		20-25	2	Bajo					
23.87-29.4	3	Media		24.93-29.31	3	Medio		25-30	3	Medio					
29.4-43.8	5	Muy alta	Agrosilvopast oril	29.31-33.64	4	Alto	Forestal de Uso Limitado	30-40	4	Alto					
43.8-74.47	4	Alta	Agrosilvopast oril de uso limitado	33.64-72.93	5	Muy alto	Forestal	40-72.93	5	Muy alto	Ganadería extensiva				
Carbono organico del suelo g/kg	Reclasificación	Aptitud	ZAE	Carbono organico del suelo g/kg	Reclasificación	Aptitud	ZAE	Carbono organico del suelo g/kg	Reclasificación	Aptitud	ZAE	Carbono organico del suelo g/kg	Reclasificación	Aptitud	ZAE
13.79-20	1	Muy baja		13.72-33.32	1	Muy bajo		13.72-25	1	Muy bajo					
20-30	2	Baja		33.32-37.38	2	Bajo		24-35	2	Bajo					
30-40	3	Media		37.38-42.61	3	Medio		35-50	3	Medio					
40-50	4	Alta	Agrosilvopast oril de uso limitado	42.61-48.47	4	Alto	Forestal de Uso Limitado	50-65	4	Alto					
50-94.20	5	Muy alta	Agrosilvopast oril	48.47-93.38	5	Muy alto	Forestal	65-93.38	5	Muy alto	Ganadería extensiva				
pH	Reclasificación	Aptitud	ZAE	pH	Reclasificación	Aptitud	ZAE	pH	Reclasificación	Aptitud	ZAE	pH	Reclasificación	Aptitud	ZAE
4.59-5.11	1	Muy baja		4.59-5.18	1	Muy bajo		4.61-5	1	Muy bajo					
5.11-5.19	2	Baja		5.18-5.26	2	Bajo		5-5.5	2	Bajo					
5.19-5.21	3	Media		5.26-5.4	3	Medio		5.5-6	3	Medio					
5.21-5.34	4	Alta	Agrosilvopast oril de uso limitado	5.4-5.72	4	Alto	Forestal de Uso Limitado	6-6.5	4	Alto					
5.34-6.17	5	Muy alta	Agrosilvopast oril	5.72-6.76	5	Muy alto	Forestal	6.5-7.5	5	Muy alto	Ganadería extensiva				
6.17-7.51	4	Alta	Agrosilvopast oril de uso limitado												



Precipitación durante la estación de crecimiento (GSP) KgPP/m2	Reclasificación	Aptitud	ZAE	Precipitación durante la estación de crecimiento (GSP) KgPP/m2	Reclasificación	Aptitud	ZAE	Precipitación durante la estación de crecimiento (GSP) KgPP/m2	Reclasificación	Aptitud	ZAE
0-1200	1	Muy baja		0-1000	1	Muy bajo		0-1000	1	Muy bajo	
1200-1800	2	Baja		1000-1500	2	Bajo		1000-1500	2	Bajo	
1800-2400	5	Muy alta	Agrosilvopast oril	1500-2000	4	Alto	Forestal de Uso Limitado	1500-2000	3	Medio	
2400-3000	4	Alta	Agrosilvopast oril de uso limitado	2000-2500	5	Muy alto	Forestal	2000-2500	4	Alto	
3000-3717.08	3	Media		2500-3717.08	3	Medio		2500-3717.08	5	Muy alto	Ganadería extensiva
Temperatura durante la estación de crecimiento (GST) °C	Reclasificación	Aptitud	ZAE	Temperatura durante la estación de crecimiento (GST) °C	Reclasificación	Aptitud	ZAE	Temperatura durante la estación de crecimiento (GST) °C	Reclasificación	Aptitud	ZAE
0.95-7	1	Muy baja		0.95-10	1	Muy bajo		0.95-8	1	Muy bajo	
7-12	2	Baja		10-15	4	Alto	Forestal de Uso Limitado	8-12	2	Bajo	
12-18	3	Media		15-20	5	Muy alto	Forestal	12-16	3	Medio	
18-22	4	Alta	Agrosilvopast oril de uso limitado	20-22.5	3	Medio		16-20	4	Alto	
22-24.45	5	Muy alta	Agrosilvopast oril	22.5-24.45	2	Bajo		20-24.45	5	Muy alto	Ganadería extensiva



Humedad relativa superficial (HRS) %	Reclasificación	Aptitud	ZAE	Humedad relativa superficial (HRS) %	Reclasificación	Aptitud	ZAE	Humedad relativa superficial (HRS) %	Reclasificación	Aptitud	ZAE
51.91-58.06	1	Muy baja		51.91-58	1	Muy bajo		51.91-58	1	Muy bajo	
58.06-65.08	2	Baja		58-63	2	Bajo		58-63	2	Bajo	
65.08-67.68	5	Muy alta	Agrosilvopastoril	63-68	3	Medio		63-68	3	Medio	
67.68-69.99	4	Alta	Agrosilvopastoril de uso limitado	68-72	4	Alto	Forestal de Uso Limitado	68-72	4	Alto	
69.99-75.76	3	Media		72-75.76	5	Muy alto	Forestal	72-75.76	5	Muy alto	Ganadería extensiva
Cantidad de biomasa producida por las plantas (NPP) GC/m2	Reclasificación	Aptitud	ZAE	Cantidad de biomasa producida por las plantas (NPP) GC/m2	Reclasificación	Aptitud	ZAE	Cantidad de biomasa producida por las plantas (NPP) GC/m2	Reclasificación	Aptitud	ZAE
491.39-1039	1	Muy baja		491.39-900	1	Muy bajo		491.39-1000	1	Muy bajo	
1039-1471.1	2	Baja		900-1350	2	Bajo		1000-1500	2	Bajo	
1471.1-1865	3	Media		1350-1800	3	Medio		1500-2000	3	Medio	
1865-2119.3	4	Alta	Agrosilvopastoril de uso limitado	1800-2250	4	Alto	Forestal de Uso Limitado	2000-2250	4	Alto	
2119.3-2446.8	5	Muy alta	Agrosilvopastoril	2250-2446.8	5	Muy alto	Forestal	2250-2446.8	5	Muy alto	Ganadería extensiva

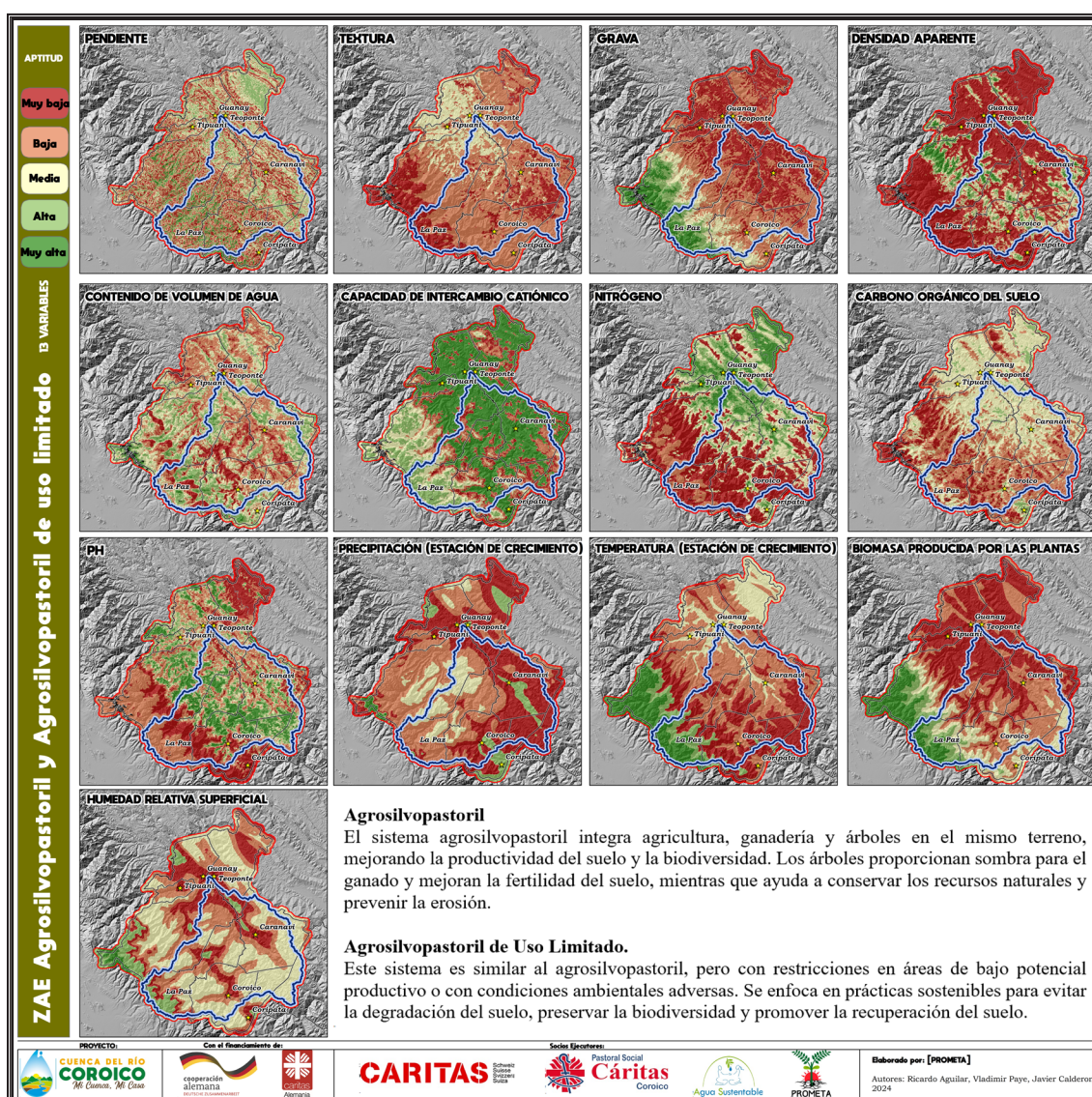


5.6. Reclasificación de las variables esenciales

La reclasificación de variables esenciales evalúa diversas características del suelo y el clima para determinar su aptitud para diferentes sistemas de uso agropecuario, como el agrosilvopastoril, forestal y ganadería extensiva. Se consideran factores como la pendiente, textura del suelo, densidad aparente, contenido de agua, capacidad de intercambio catiónico, nitrógeno, carbono orgánico y pH, con clasificaciones que van desde muy baja hasta muy alta aptitud. Estas variables ayudan a identificar las mejores prácticas para el uso sostenible de los recursos naturales en función de las condiciones del terreno y el clima.

5.6.1. ZAE Agrosilvopastoril y Agrosilvopastoril de uso limitado

- Pendiente: Se clasifica según la pendiente en distintos rangos de aptitud para el agrosilvopastoril, desde muy alto (0-30%) hasta muy bajo (70-308.8%).
- Textura del suelo: La textura de los suelos también se clasifica en función de su aptitud para el agrosilvopastoril, con suelos franco arcillosos arenosos siendo de bajo valor y suelos francos de muy alto valor.

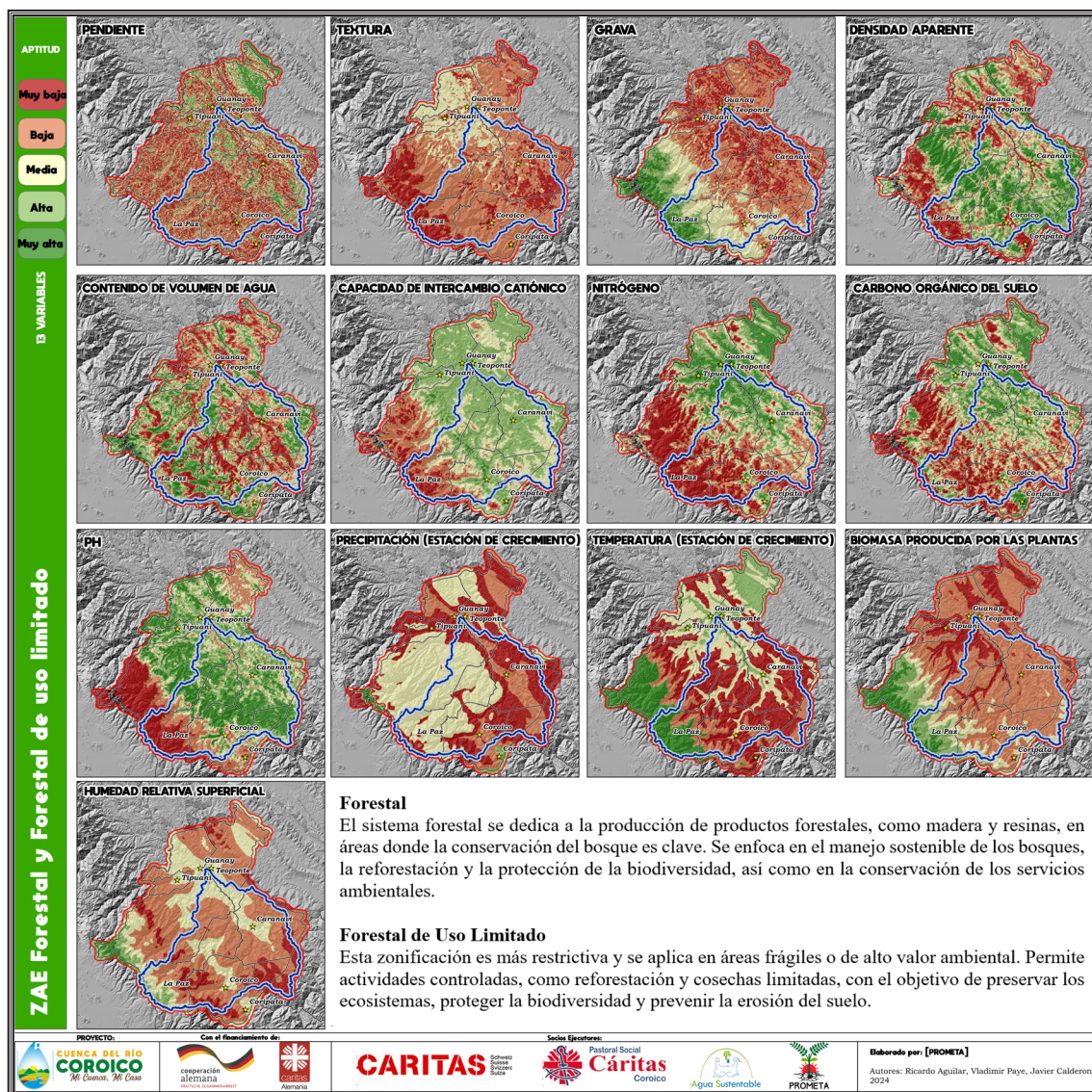


Fuente: Elaboración propia

- **Propiedades del suelo:** Otras propiedades como la densidad aparente, contenido de agua y capacidad de intercambio catiónico también son claves para determinar la aptitud del suelo para este tipo de sistema agroforestal.

5.6.2. ZAE Forestal y Forestal de uso limitado

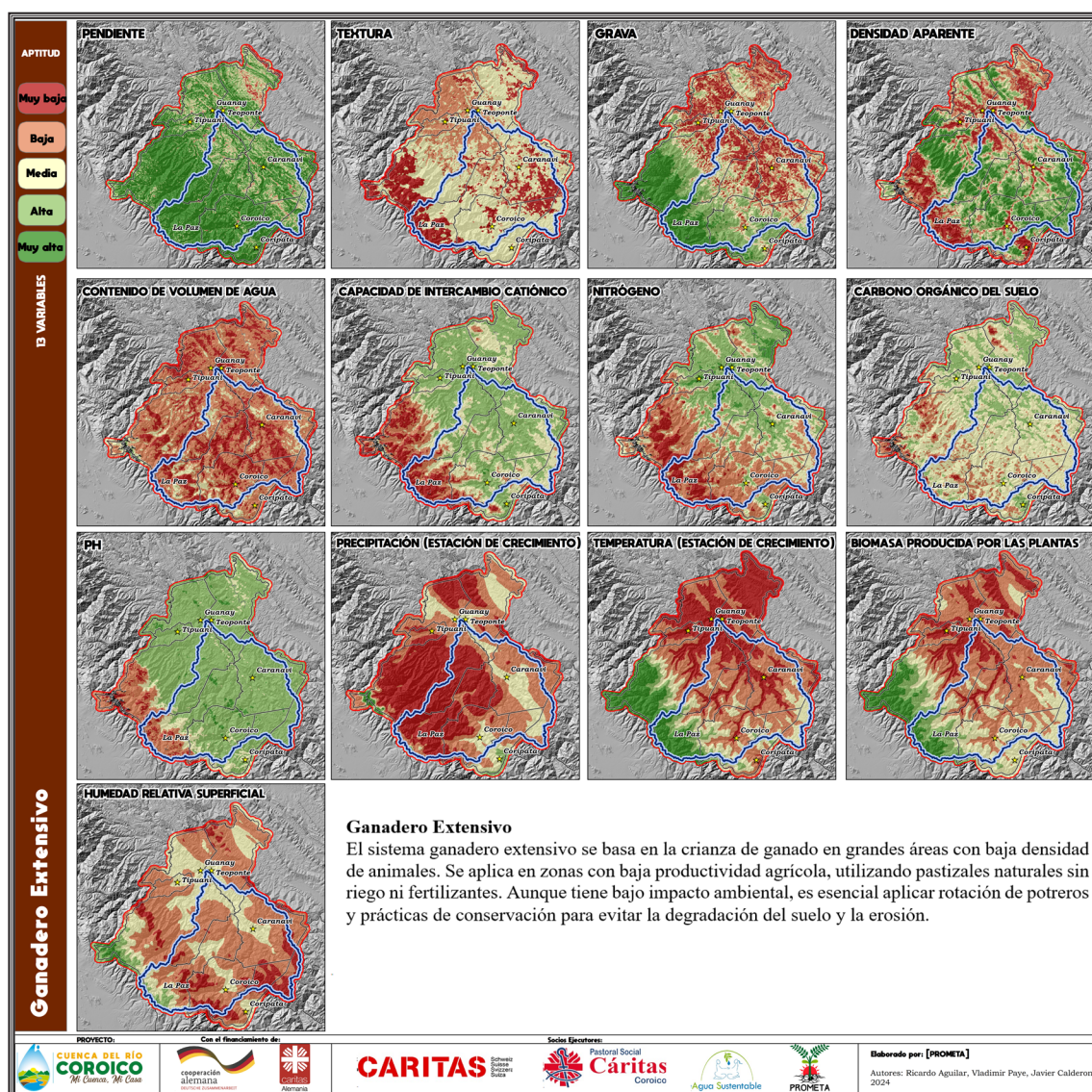
- **Pendiente:** La pendiente de los suelos determina su clasificación para el uso forestal, con áreas de pendiente baja a media siendo más aptas para la forestación.
- **Propiedades del suelo:** La textura del suelo, densidad aparente, y contenido de agua son factores determinantes en la aptitud de los suelos forestales, con suelos francos y adecuados para la forestación de alto valor.
- **Clima:** El clima, con precipitación y temperatura durante la estación de crecimiento, influye en la clasificación para sistemas forestales, donde áreas con alta precipitación y temperaturas moderadas son más aptas.



Fuente: Elaboración propia

5.6.3 ZAE Ganadería Extensiva

- **Pendiente:** Zonas con pendiente baja (0-5%) son las más adecuadas para la ganadería extensiva.
- **Propiedades del suelo:** La textura, densidad aparente, y capacidad de intercambio catiónico son evaluadas para determinar la aptitud del suelo, con suelos francos siendo más adecuados para este tipo de ganadería.
- **Clima y Biomasa:** La cantidad de precipitación y la biomasa producida son factores importantes para la ganadería extensiva, siendo zonas con alta biomasa y precipitación más favorables.



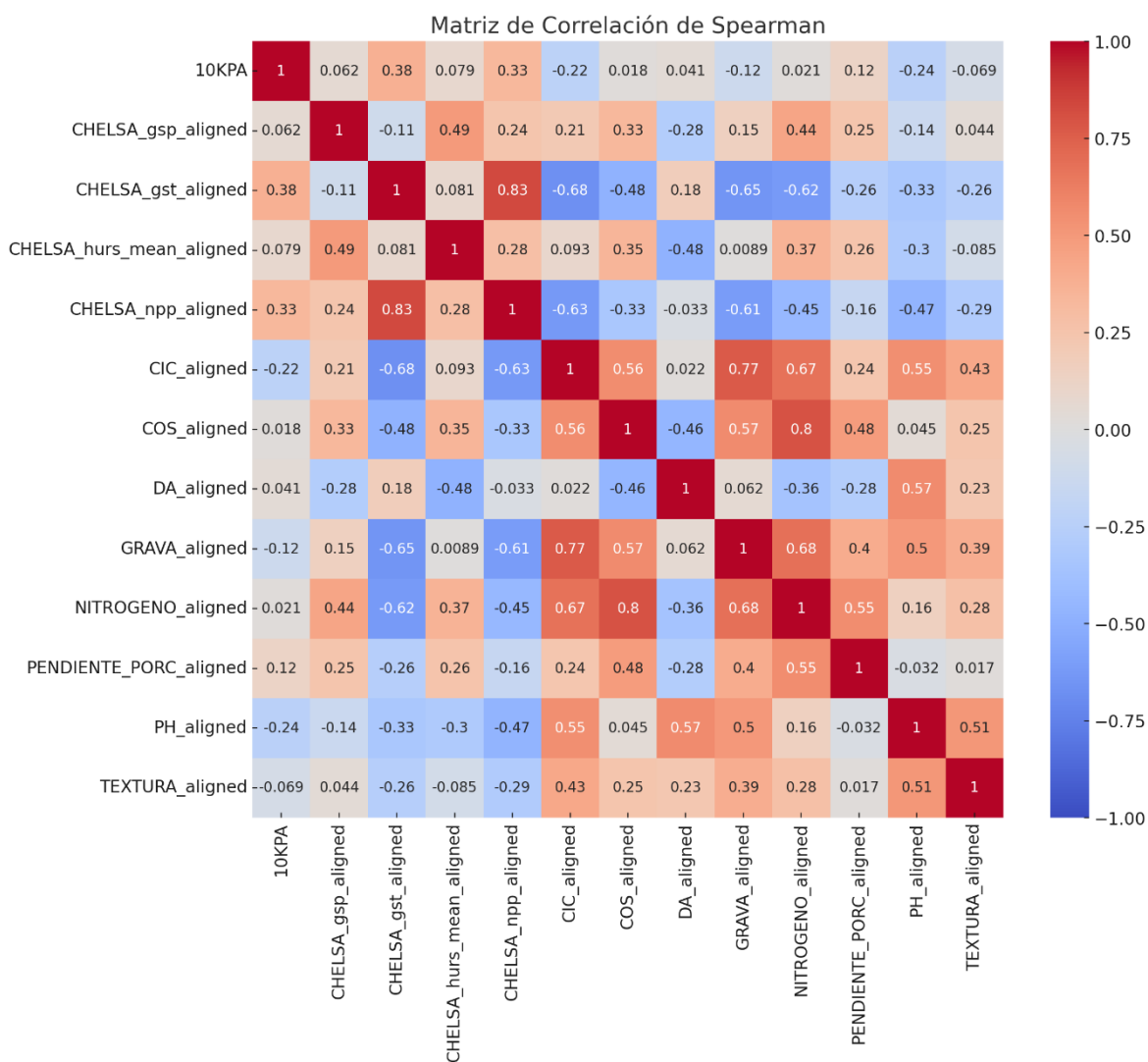
Fuente: Elaboración propia

5.7. Importancia de las variables esenciales

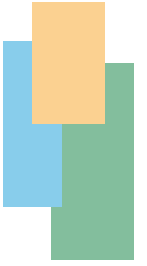
Para definir la importancia se ha utilizado los valores originales de cada una de las variables esenciales alineadas, en dos métodos de correlación, Spearman y Kendall (código Python en anexos).

5.7.1. Matriz de correlación Spearman

Esta matriz de correlación se ha calculado utilizando el coeficiente de Spearman, mide la relación monótonica entre dos variables, considerando el orden de los datos en lugar de los valores en sí.



Densidad Aparente muestra una correlación positiva moderada con: **Capacidad de intercambio catiónico** (0.46): Una mayor densidad aparente está asociada con un aumento en la capacidad de intercambio catiónico. **Grava** (0.57): La presencia de grava parece estar moderadamente relacionada con la densidad aparente.



Productividad neta primaria tiene una fuerte correlación negativa con: **Capacidad de intercambio catiónico** (-0.63): Un aumento en la capacidad de intercambio catiónico tiende a reducir la productividad neta primaria. **Grava** (-0.61): Similar a la matriz de Pearson, sugiere que los suelos con mayor contenido de grava presentan menor productividad.

Nitrógeno: Presenta una correlación positiva con **Capacidad de intercambio catiónico** (0.67), lo que sugiere que suelos con mayor capacidad de intercambio catiónico también tienden a tener mayores niveles de nitrógeno. También muestra una correlación positiva con **grava** (0.68), lo que podría implicar que suelos con mayor contenido de grava tienen también un mayor contenido de nitrógeno, aunque esta relación es difícil de interpretar.

GST (Temperatura del suelo) tiene una fuerte correlación negativa con: **GRAVA** (-0.65): Al igual que en la matriz de Pearson, sugiere que, a mayor contenido de grava, la temperatura del suelo es más baja. **CIC_aligned** (-0.68): Esto puede implicar que los suelos con mayor capacidad de intercambio catiónico tienden a tener una temperatura del suelo más baja.

PH tiene una correlación positiva moderada con: **CIC** (0.55) y **DA** (0.57): Lo que implica que los suelos con mayor capacidad de intercambio catiónico y densidad aparente tienden a tener un pH más alto.

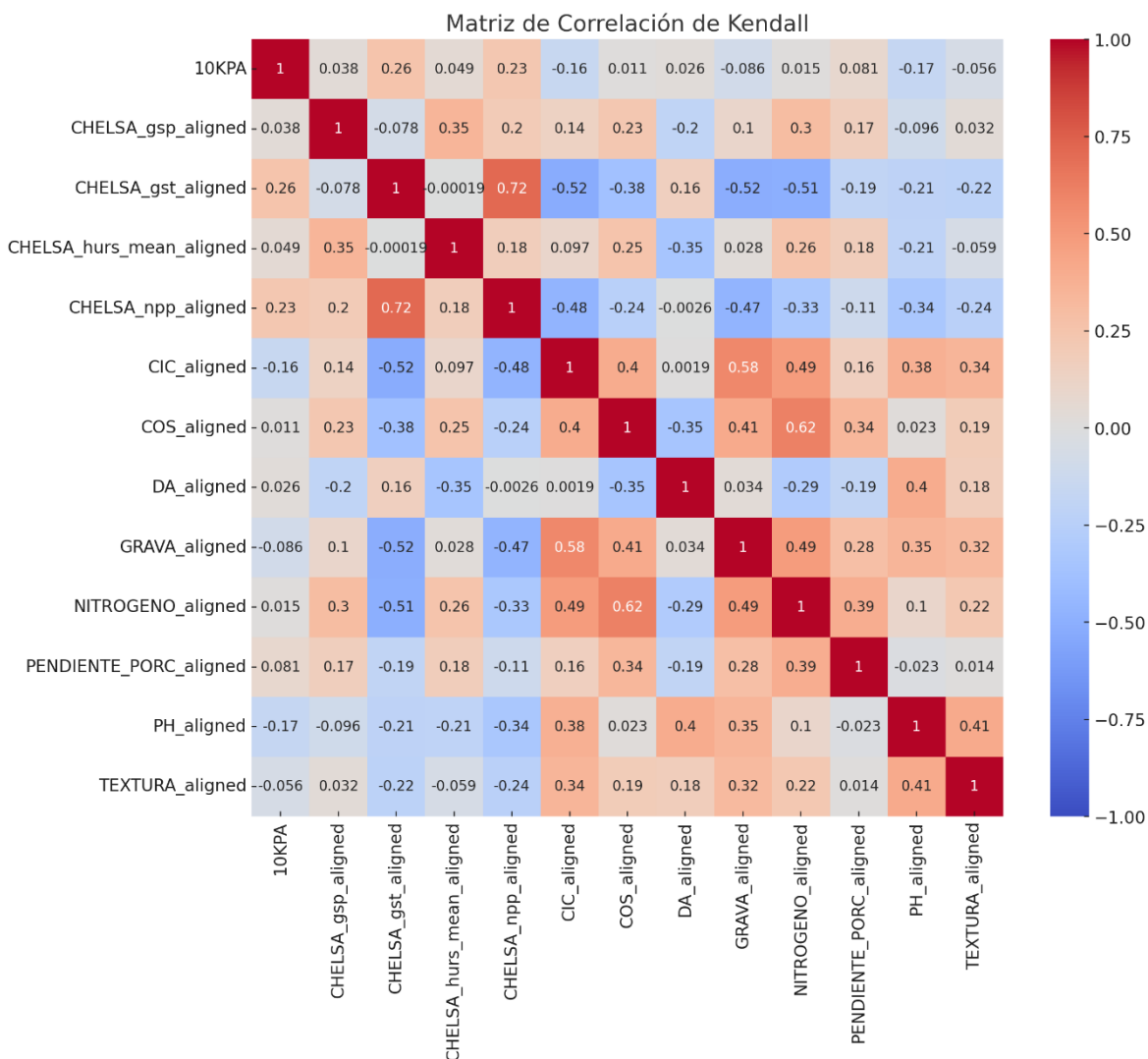
-10KPA (Retención de humedad) tiene relaciones mucho más débiles en esta matriz comparada con la de Pearson, destacándose una leve correlación negativa con **PH** (-0.24) y **GRAVA** (-0.12), sugiriendo que suelos con mayor contenido de grava y pH pueden retener menos agua.

Carbono orgánico del suelo, tiene correlaciones moderadas positivas con **CIC** (0.56) y **GRAVA** (0.57), indicando que el carbono orgánico está asociado con suelos más ricos en capacidad de intercambio catiónico y contenido de grava.

5.7.2 Matriz de correlación Kendall

La matriz de correlación de **Kendall** mide la relación entre las variables, evaluando la concordancia entre los pares ordenados, y es útil cuando los datos no son normalmente distribuidos o las relaciones no son lineales.

Densidad Aparente: tiene correlaciones positivas moderadas con: **CIC** (0.35): Una mayor densidad aparente está relacionada con una mayor capacidad de intercambio catiónico, aunque de manera menos marcada que en Pearson o Spearman.



GRAVA (0.35): La relación entre la densidad aparente y el contenido de grava es nuevamente evidente, pero más débil en comparación con las otras dos matrices.

GST: (Temperatura del suelo) tiene una correlación negativa con: **CIC** (-0.52): Esto sugiere que a medida que aumenta la capacidad de intercambio catiónico, la temperatura del suelo disminuye. **GRAVA** (-0.47): Refuerza la idea de que los suelos con más grava tienen temperaturas del suelo más bajas.

NPP: (Productividad neta primaria): Muestra una correlación positiva con **GST** (0.72), indicando que, a mayor temperatura del suelo, la productividad neta primaria también tiende a ser mayor. Relación negativa con **CIC** (-0.48), lo que implica que suelos con mayor capacidad de intercambio catiónico pueden tener una menor productividad neta primaria.

NITROGENO: Correlación positiva moderada con **CIC** (0.49): Sugiere que suelos con mayor

capacidad de intercambio catiónico tienden a tener mayor contenido de nitrógeno. Fuerte correlación con **GRAVA** (0.62): Suele haber más nitrógeno en suelos con mayor contenido de grava, similar a lo que se observó en las otras matrices.

PH tiene una relación positiva moderada con: **CIC** (0.38): Lo que sugiere que suelos con mayor capacidad de intercambio catiónico tienden a tener un pH más alto. **GRAVA** (0.35): De nuevo, los suelos con más grava parecen tener un pH más alto.

10KPA (Retención de humedad) tiene correlaciones generalmente más débiles con las otras variables, como con **GRAVA** (-0.086) y **PH** (-0.17), lo que indica que la influencia de la textura o características físicas del suelo en la retención de humedad es menos significativa en términos de la relación ordenada.

Carbono orgánico del suelo: Muestra una correlación positiva moderada con **CIC** (0.40), sugiriendo que suelos con más carbono orgánico tienden a tener una mayor capacidad de intercambio catiónico. Correlación positiva también con **GRAVA** (0.35), lo que indica que el carbono orgánico está moderadamente asociado con suelos más ricos en grava.



5.7.3. Análisis de dispersión

Según las relaciones observadas en los gráficos de dispersión, las variables muestran patrones curvos o no siguen una tendencia lineal clara (como una nube de puntos dispersa), Spearman y Kendall son más apropiadas en estos casos porque: Spearman mide la relación monotónica (si una variable sube, la otra también lo hace, pero no necesariamente de manera lineal). Kendall es similar a Spearman, pero es aún más robusta frente a datos no lineales y es menos afectada por valores atípicos. Porque los gráficos demuestran que las relaciones no son lineales.

Se utilizó la correlación de Spearman o Kendall para capturar mejor la naturaleza de las relaciones entre las variables. Se ha utilizado Kendall porque es la más robusta y es la mejor opción para nuestros datos.

5.7.4. Importancia relativa

Con la matriz de correlación de Kendall se ha evaluado la importancia relativa de cada variable, sumando las correlaciones absolutas con siguiente código de Python.

```
# Calcular la suma de las correlaciones absolutas de Kendall para cada variable
```

```
kendall_sum = kendall_corr_matrix.abs().sum()
```

```
# Calcular el inverso de la suma (para evitar dar demasiado peso a variables  
con muchas correlaciones fuertes)
```

```
inverse_kendall_sum = 1 / kendall_sum
```

```
# Normalizar las ponderaciones para que sumen 1
```

```
ponderaciones_kendall = inverse_kendall_sum / inverse_kendall_sum.sum()
```

Convertir a DataFrame para visualización

```
ponderaciones_kendall_df = pd.DataFrame(ponderaciones_kendall, columns=['Ponderación'])
ponderaciones_kendall_df.sort_values(by='Ponderación', ascending=False, inplace=True)
import ace_tools as tools; tools.display_dataframe_to_user(name="Ponderaciones Basadas en Correlación de Kendall", dataframe=ponderaciones_kendall_df)
```

5.7.5. Variables ponderadas

ID	VARIABLE	UNIDAD	PONDERACIÓN KENDALL
1	Contenido de volumen de agua	-10kPa	0.126884464
2	Precipitación durante la estación de crecimiento (GSP)	KgPP/m2	0.094266225
3	Humedad relativa superficial (HRS)	%	0.092018045
4	Pendiente	%	0.08794744
5	Densidad aparente	kg/dm ³	0.086742584
6	Textura		0.084125089
7	pH agua	pH	0.074299922
8	Carbono orgánico del suelo	g/kg	0.062106782
9	Cantidad de biomasa producida por las plantas (NPP)	GC/m2	0.060993308
10	Grava	cm3/100cm3 (vol%)	0.059214954
11	Capacidad de intercambio catiónico (a pH 7)	cmol(c)/kg	0.058213354
12	Temperatura durante la estación de crecimiento (GST)	°C	0.058012614
13	Nitrógeno	g/kg	0.05517522
		TOTAL	1

5.8. Suma ponderada para ZAE en el área de acción

Para obtener la Zonificación agroecológica para el área de acción se realizó la suma ponderada con la siguiente formula:

$Variable1 * ponderación1) + (variable2 * ponderación2)....(variable13 * ponderación13)$

Con los datos:

$(Contenido\ de\ volumen\ de\ agua * 0.126884464) + (Precipitación\ durante\ la\ estación\ de\ crecimiento\ (GSP) * 0.094266225) + (Humedad\ relativa\ superficie\ (HRS) * 0.092018045) + (Pendiente * 0.08794744) + (Densidad\ aparente * 0.086742584) + (Textura * 0.084125089) + (pH\ agua * 0.074299922) + (Carbono\ orgánico\ del\ suelo * 0.062106782) + (Cantidad\ de\ biomasa\ producida\ por\ las\ plantas\ (NPP) * 0.060993308) + (Grava * 0.059214954) + (Capacidad\ de\ intercambio\ catiónico\ (a\ pH\ 7) * 0.058213354) + (Temperatura\ durante\ la\ estación\ de\ crecimiento\ (GST) * 0.058012614) + (Nitrógeno * 0.05517522)$

5.9. Zonificación Agroecológica

Con el resultado de la suma ponderada de las variables, se tiene las áreas de zonificación agroecológica para agrosilvopastoril y agrosilvopastoril de uso limitado, Ganadero intensivo, Forestal y Forestal de uso limitado

MUNICIPIO	ZONIFICACIÓN	HA
Caranavi	Agrosilvopastoril	9,061.7
	Agrosilvopastoril de uso limitado	24,025.8
	Forestal	37,300.6
	Forestal de uso limitado	63,035.2
	Ganadero extensivo	1,208.4
	Protección	20,857.3
Coripata	Agrosilvopastoril	5,652.1
	Agrosilvopastoril de uso limitado	8,589.5
	Forestal	32,607.5
	Forestal de uso limitado	18,238.9
	Ganadero extensivo	18.0
	Protección	4,148.7
Coroico	Agrosilvopastoril	8,976.2
	Agrosilvopastoril de uso limitado	15,163.4
	Forestal	49,073.1
	Forestal de uso limitado	16,688.4
	Ganadero extensivo	92.4
	Protección	19,147.4
Guanay	Agrosilvopastoril	3,564.0
	Agrosilvopastoril de uso limitado	16,596.2
	Forestal	66,215.9
	Forestal de uso limitado	128,113.7
	Ganadero extensivo	15,929.3
	Protección	130,624.0

Nuestra Señora de La Paz	Agrosilvopastoril	3,509.9
	Agrosilvopastoril de uso limitado	11,509.8
	Forestal	38,936.7
	Forestal de uso limitado	46,404.4
	Ganadero extensivo	1,396.9
	Protección	46,700.5
Teoponte	Agrosilvopastoril	6,175.3
	Agrosilvopastoril de uso limitado	22,468.3
	Forestal	25,369.4
	Forestal de uso limitado	39,735.0
	Ganadero extensivo	3,331.7
	Protección	40,693.6
Tipuani	Agrosilvopastoril	488.7
	Agrosilvopastoril de uso limitado	1,493.9
	Forestal	2,889.5
	Forestal de uso limitado	11,861.5
	Ganadero extensivo	1,721.0
	Protección	6,360.9
Total general		1,005,974.7

(Ver desplegable Mapa ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA)



5.9.1. Zona agroecológica agrosilvopastoril

La zonificación Agroecológica Agrosilvopastoril combina agricultura, silvicultura y ganadería para un uso más equilibrado del suelo, los resultados de los análisis realizados determino 44,072.4 ha para el sistema Agrosilvopastoril.

ZAE	PROVINCIA	COD	MUNICIPIO	Ha
Agrosilvopastoril	Nor Yungas	1	Coroico	10,319.2
	Caranavi	2	Caranavi	10,610.9
	Larecaja	3	Guanay	4,811.9
	Larecaja	4	Teoponte	7,280.9
	Larecaja	5	Tipuani	532.9
	Nor Yungas	6	Coripata	5,804.3
	Murillo	7	Nuestra Señora de La Paz	4,712.2
TOTAL				44,072.4

La provincia **Nor Yungas**, incluye los municipios de **Coroico** (10,319.2 Ha) y **Coripata** (5,804.3 Ha), sumando una superficie total considerable para actividades agrosilvopastoriles en esta región.

La provincia **Caranavi** con El municipio de **Caranavi** tiene la mayor área asignada (10,610.9 Ha), lo que sugiere que es una de las zonas clave para la región. La Provincia **Larecaja** con Los municipios de **Guanay**, **Teoponte** y **Tipuani** están presentes, con áreas que varían desde **4,811.9** Ha en Guanay hasta **532.9** Ha. Tipuani tiene la menor área de todas las zonas listadas.

La provincia **Murillo** incluye el municipio de **Nuestra Señora de La Paz**, con una superficie de 4,712.2 Ha asignada a la ZAE agrosilvopastoril.

La superficie total varía significativamente entre los municipios, **Caranavi** y **Coroico** tienen las mayores áreas asignadas (más de 10,000 Ha cada una), lo que podría implicar que estas áreas son prioritarias o más adecuadas para este tipo de uso del suelo.

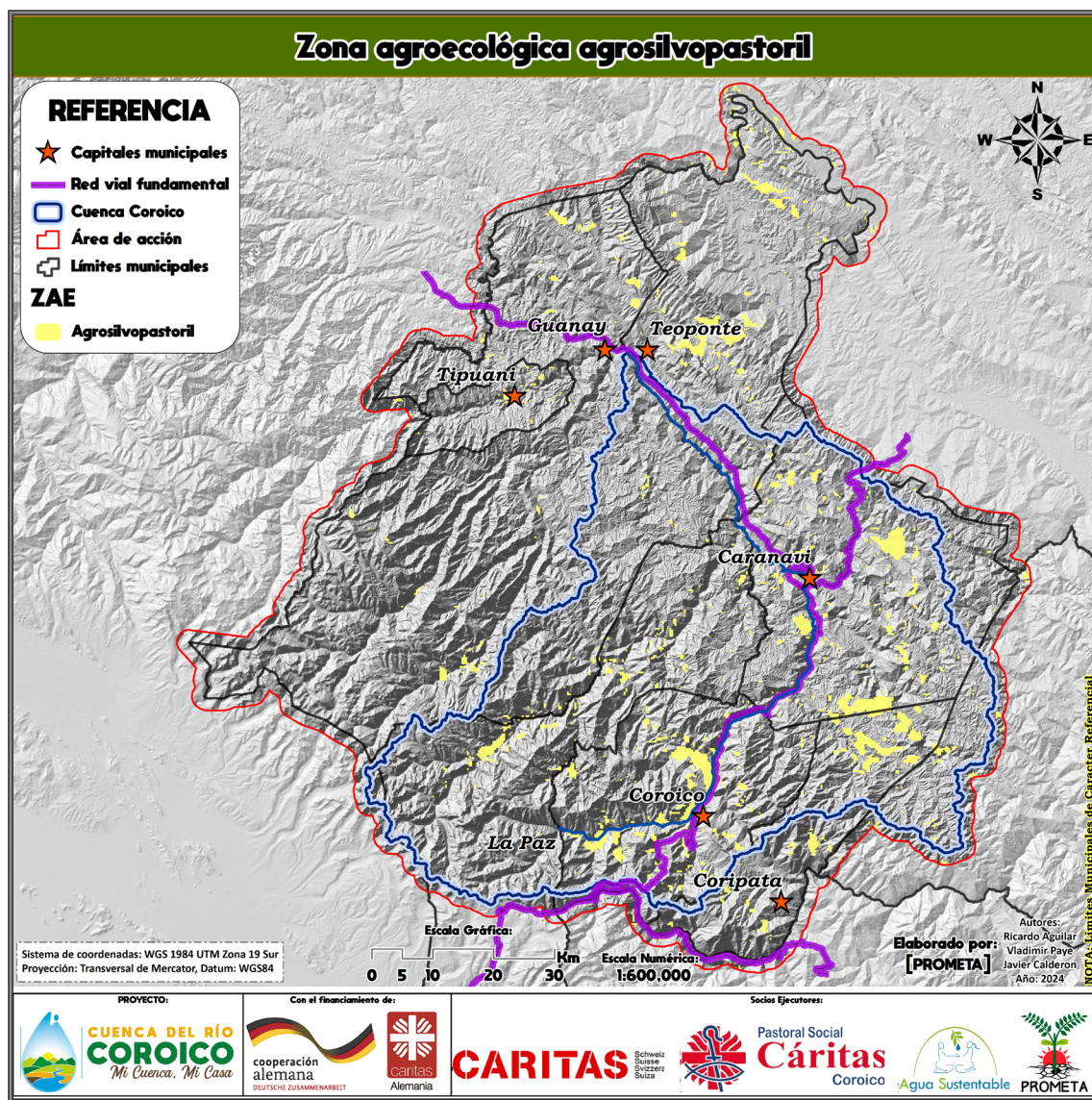
Tipuani es el municipio con menor área destinada a este uso (532.9 Ha), lo que sugiere que la capacidad o la adecuación de estas tierras para el sistema agrosilvopastoril puede ser limitada en esa zona.

Hay una variación considerable en la cantidad de hectáreas asignadas entre los municipios. Las zonas con más de 10,000 Ha, como **Coroico** y **Caranavi**, son áreas más aptas para este tipo de prácticas, está relacionado con factores como la disponibilidad de tierra, calidad del suelo, clima, y accesibilidad.

Los sistemas agrosilvopastoriles son estrategias sostenibles que integran la producción agrícola, forestal y ganadera, buscando un equilibrio entre la productividad y la conservación del medio ambiente. Estas zonas deben integrar estrategias de manejo

bajo para la sostenibilidad a largo plazo, especialmente en áreas como los Yungas, donde la biodiversidad y la conservación son cruciales.

Caranavi y Coroico son los municipios más relevantes en cuanto a la extensión de tierra para este tipo de uso, lo que podría sugerir que tienen un potencial más alto para la expansión o consolidación de sistemas agrosilvopastoriles.



5.9.2. Zona agroecológica agrosilvopastoril de uso limitado

Esta zona con **106,152.1ha** permite prácticas agrosilvopastoriles con restricciones en el uso, debido a limitaciones ambientales, topográficas y de conservación. Este tipo de manejo tiende a ser más conservador, con el objetivo de evitar la degradación o pérdida de ecosistemas valiosos.

ZAE	PROVINCIA	COD	MUNICIPIO	Ha
Agrosilvopastoril de uso limitado	Nor Yungas	1	Coroico	18,429.3
	Caranavi	2	Caranavi	23,058.4
	Larecaja	3	Guanay	18,699.2
	Larecaja	4	Teoponte	19,674.7
	Larecaja	5	Tipuaní	1,506.4
	Nor Yungas	6	Coripata	10,690.8
	Murillo	7	Nuestra Señora de La Paz	14,093.4
				106,152.1

Provincias involucradas: Nor Yungas: Incluye **Coroico** (18,429.3 Ha) y **Coripata** (10,690.8 Ha), con un total significativo de tierras bajo manejo agrosilvopastoril limitado.

Caranavi: Con **23,058.4 Ha**, Caranavi sigue siendo el municipio con la mayor superficie asignada en este tipo de sistema, lo que indica que sigue siendo un área clave para el manejo sostenible a pesar de las restricciones.

Larecaja: Tres municipios están presentes: **Guanay** (18,699.2 Ha), **Teoponte** (19,674.7 Ha) y **Tipuani** (1,506.4 Ha). Teoponte y Guanay tienen áreas importantes asignadas, mientras que Tipuani sigue siendo el municipio con la menor superficie dedicada.

Murillo: Nuestra Señora de La Paz tiene **14,093.4 Ha** bajo este tipo de manejo, lo que indica que este municipio también tiene áreas considerables con uso agrosilvopastoril restringido.

Caranavi tiene la mayor superficie (23,058.4 Ha), lo que resalta su importancia incluso en un régimen de uso limitado. Las áreas asignadas en general son significativamente mayores en comparación con la tabla anterior de uso no restringido, lo que sugiere que hay un enfoque mayor en la protección y el manejo cuidadoso de estas zonas.

Tipuani sigue siendo el municipio con menor superficie asignada, lo que podría estar relacionado con restricciones más estrictas o una menor adecuación para estos sistemas. Comparado con los datos de uso no limitado, las áreas asignadas son generalmente más grandes, lo que sugiere que estas zonas de uso limitado cubren áreas más sensibles o con mayor prioridad para la conservación.

Caranavi sigue siendo el área clave con la mayor cantidad de hectáreas dedicadas, lo que indica que, a pesar de las limitaciones, esta área tiene un potencial importante para los sistemas agrosilvopastoriles, probablemente con un manejo más cuidadoso y planificado.



Las limitaciones en el uso indican que estas áreas tienen características como pendientes pronunciadas, suelos más frágiles y menor acceso al agua, que requieren un manejo más restrictivo. El enfoque en la sostenibilidad es mayor para evitar la degradación del suelo o la pérdida de biodiversidad.

Las áreas bajo este régimen de uso limitado están sujetas a monitoreos y control, lo que puede incluir restricciones en el pecuario, tipo de cultivos permitidos o la protección de bosques.

Municipios clave

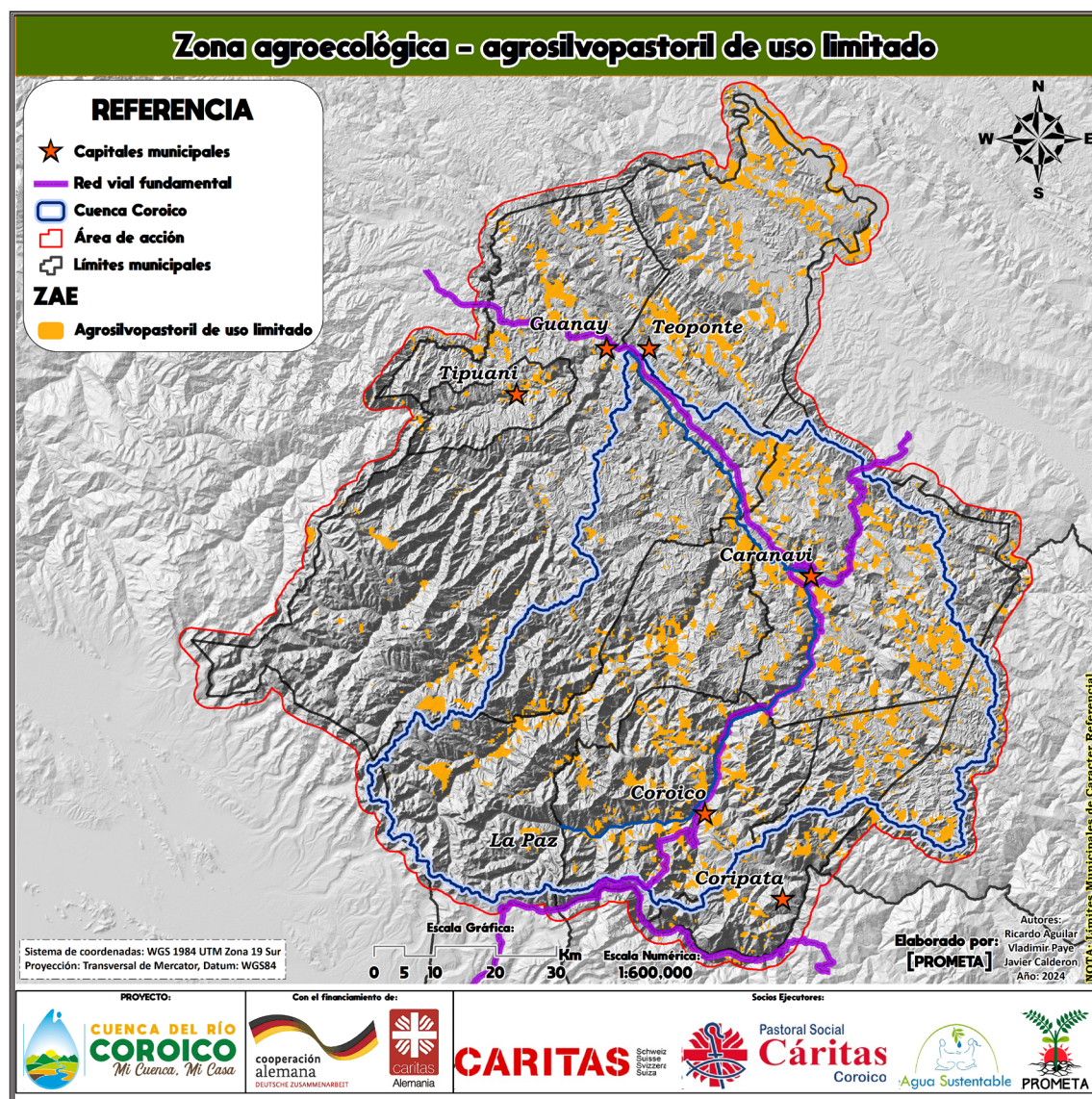
Caranavi y Teoponte son las áreas con las mayores extensiones asignadas, lo que refleja su importancia tanto en la producción agrosilvopastoril como en la necesidad de un manejo cuidadoso para evitar la degradación.

Este análisis muestra que el sistema **agrosilvopastoril de uso limitado** tiene superficies mayores y más sensibles, lo que refleja un enfoque hacia la sostenibilidad y la protección ambiental en las provincias de **Nor Yungas, Caranavi, Larecaja, y Murillo. Caranavi, Coroico, y Teoponte** son áreas importantes en producción como de manejo bajo restricciones, mientras que **Tipuani** sigue siendo el área con la menor cantidad de hectáreas asignadas.

5.9.3. Zona agroecológica Forestal

La zona agroecológica forestal con **189,390.2 Ha** está relacionada con la conservación de bosques, la producción de madera, y la protección de servicios ecosistémicos. Estas áreas están destinadas principalmente a actividades forestales, conservación de bosques, extracción controlada de madera, reforestación, y protección de la biodiversidad. Este tipo de uso sugiere un enfoque en la preservación de los ecosistemas naturales y el manejo sostenible de los recursos forestales.





ZAE	PROVINCIA	MUNICIPIO	Ha
Forestal	Nor Yungas	Coroico	40,312.6
	Caranavi	Caranavi	38,131.4
	Larecaja	Guanay	37,259.8
	Larecaja	Teoponte	24,595.4
	Larecaja	Tipuani	4,202.4
	Nor Yungas	Coripata	27,980.0
	Murillo	Nuestra Señora de La Paz	16,908.7
Total			189,390.2

Las provincias involucradas en la gestión forestal incluyen:

- Nor Yungas: Los municipios de Coroico (40,312.6 Ha) y Coripata (27,980.0 Ha), con un total de 68,292.6 Ha de superficie forestal, destacando la importancia de



esta región en la conservación y manejo sostenible de los bosques.

- Caranavi: Con 38,131.4 Ha asignadas a manejo forestal, es una región clave para este tipo de uso del suelo.
- Larecaja: Incluye los municipios de Guanay, Teoponte y Tipuani, con un total de 66,057.6 Ha. Guanay es la principal área forestal con 37,259.8 Ha, mientras que Tipuani tiene una superficie más pequeña destinada a la forestación.
- Murillo: Nuestra Señora de La Paz tiene 16,908.7 Ha asignadas a uso forestal, aunque comparativamente es una superficie menor, sigue siendo relevante dentro de la provincia.

La superficie total de tierras asignadas a uso forestal es de 189,390.3 Ha, reflejando un compromiso importante con la conservación y manejo sostenible de los recursos forestales.

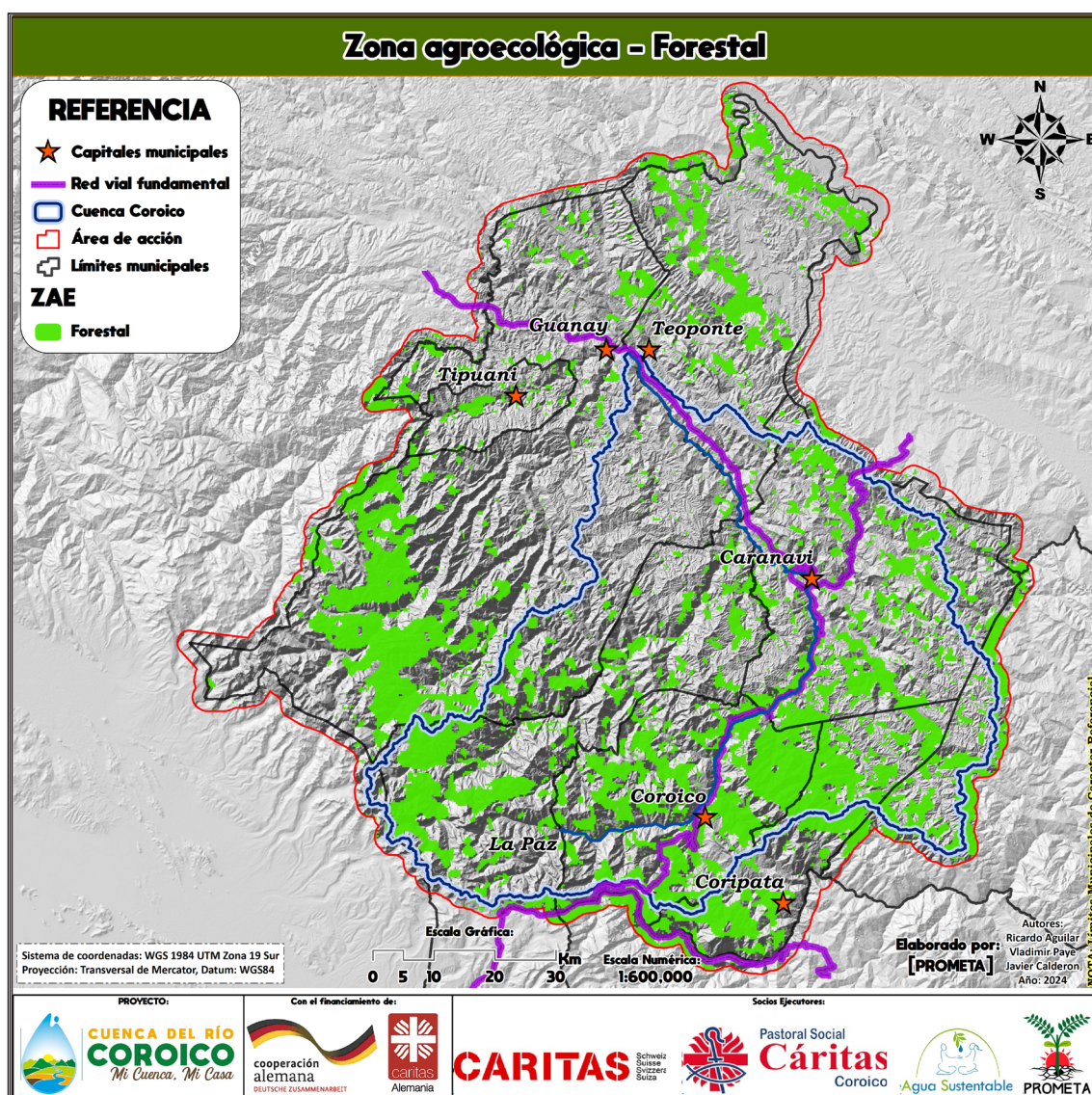
Coroico destaca por tener la mayor superficie forestal, lo que subraya su importancia en la conservación de bosques. Por otro lado, Tipuani tiene la menor superficie destinada a uso forestal (4,202.4 Ha), posiblemente debido a restricciones geográficas o ambientales.

Las áreas bajo zonificación forestal se centran en la protección de bosques, la reducción de la deforestación y la gestión sostenible, lo que puede incluir planes de reforestación y medidas para garantizar la regeneración natural. Municipios como Coroico, Caranavi y Guanay juegan un papel crucial en la preservación de los ecosistemas forestales.

A diferencia de los sistemas agrosilvopastoriles, esta zona se centra completamente en uso forestal, lo que implica un enfoque mucho más restrictivo y conservacionista del uso del suelo.

Los municipios con mayores extensiones forestales, como Guanay, Coroico y Caranavi, probablemente sean de gran importancia en términos de biodiversidad y servicios ecosistémicos, lo que refuerza la necesidad de un manejo cuidadoso.

Este análisis muestra que el sistema forestal está orientado a la conservación de grandes áreas de bosque en las provincias de Larecaja, Nor Yungas, Murillo, y Caranavi. Guanay, con la mayor superficie bajo uso forestal, es un área clave para la conservación de recursos naturales en la región. Las 189,390.2 Ha asignadas reflejan un compromiso con la conservación y el manejo sostenible de los bosques en el ara de acción, contribuyendo a la protección del ecosistema y los servicios que estos bosques brindan.



5.9.4. Zona agroecológica Forestal de uso limitado

Este tipo de zonificación implica que las áreas están destinadas a actividades forestales, pero con restricciones específicas debido a factores ambientales, ecológicos o topográficos. El “uso limitado” sugiere que se imponen restricciones adicionales para proteger los recursos naturales y evitar la degradación de los ecosistemas forestales.

Provincias involucradas: Nor Yungas: Incluye los municipios de Coroico (24,438.8 Ha) y Coripata (17,992.3 Ha), totalizando 42,431.1 Ha bajo zonificación forestal de uso limitado. Estas áreas están probablemente enfocadas en la conservación y protección de bosques con restricciones en la explotación de recursos. Caranavi: Es una de las áreas más grandes, con 53,583.7 Ha bajo manejo forestal limitado, lo que refleja su importancia en términos de recursos forestales, aunque con restricciones adicionales para garantizar su sostenibilidad. Larecaja: Se destacan los municipios de Guanay, Teoponte, y Tipuani,

que juntos abarcan 144,137.4 Ha. Guanay es el municipio con mayor superficie (96,006.5 Ha), lo que sugiere que es un área prioritaria para la protección forestal con restricciones en su uso. Murillo: Nuestra Señora de La Paz cuenta con 29,418.3 Ha bajo uso limitado, lo que también la convierte en una zona clave para el manejo forestal en la provincia de Murillo.

ZAE	PROVINCIA	MUNICIPIO	Ha
Forestal de uso limitado	Nor Yungas	Coroico	24,438.8
	Caranavi	Caranavi	53,583.7
	Larecaja	Guanay	96,006.5
	Larecaja	Teoponte	39,054.1
	Larecaja	Tipuani	9,076.8
	Nor Yungas	Coripata	17,992.3
	Murillo	Nuestra Señora de La Paz	29,418.3
Total			269,570.4

Guanay, con **96,006.5 Ha**, es el municipio con mayor área asignada bajo este tipo de zonificación, lo que sugiere que es una zona de alto valor ecológico o con características ambientales que requieren un manejo forestal más restrictivo.

Tipuani, con **9,076.8 Ha**, sigue siendo el municipio con la menor cantidad de hectáreas bajo este tipo de manejo, lo que puede estar relacionado con limitaciones geográficas o condiciones menos favorables para el manejo forestal extensivo.

El total de tierras bajo **uso forestal limitado** en la tabla asciende a **269,570.4 Ha**, lo que representa un compromiso importante en términos de manejo y conservación de áreas forestales bajo un régimen de uso limitado.

Las provincias de **Larecaja** y **Caranavi** tienen la mayor cantidad de hectáreas bajo esta clasificación. Esto sugiere que estas áreas tienen una alta prioridad para la protección forestal, pero con restricciones que buscan equilibrar el uso de los recursos y la conservación. Guanay, en particular, es el área más extensa bajo este régimen, lo que indica que podría tener características ecológicas importantes que requieren un manejo forestal cuidadosamente controlado.

Las áreas bajo **uso limitado** están sujetas a controles estrictos para evitar la degradación, deforestación y erosión del suelo. Se deben implementar restricciones para la extracción de madera o actividades que puedan afectar negativamente los ecosistemas forestales.

Estas áreas también pueden enfocarse en la reforestación, la restauración de hábitats, y la protección de la biodiversidad.

Guanay, Caranavi, y Teoponte son los municipios más relevantes en términos de extensión de tierras bajo uso forestal limitado, lo que indica que estas áreas juegan un papel fundamental en la conservación forestal. **Tipuani**, aunque tiene una extensión

relativamente pequeña, sigue siendo importante en términos de manejo forestal, con énfasis en la protección de áreas sensibles.

Este análisis refleja un enfoque en la **zonificación forestal de uso limitado** en áreas clave como **Guanay, Caranavi, y Teoponte**, que cuentan con grandes extensiones de tierra bajo manejo restrictivo. Las **269,570.4** Ha asignadas a este uso subrayan la importancia de proteger y manejar de manera sostenible los recursos forestales en estas provincias. Las áreas más pequeñas, como **Tipuani y Coripata**, probablemente estén sujetas a restricciones más severas debido a sus características geográficas o ambientales. Este tipo de zonificación es esencial para garantizar la conservación a largo plazo de los bosques y la biodiversidad en la región.

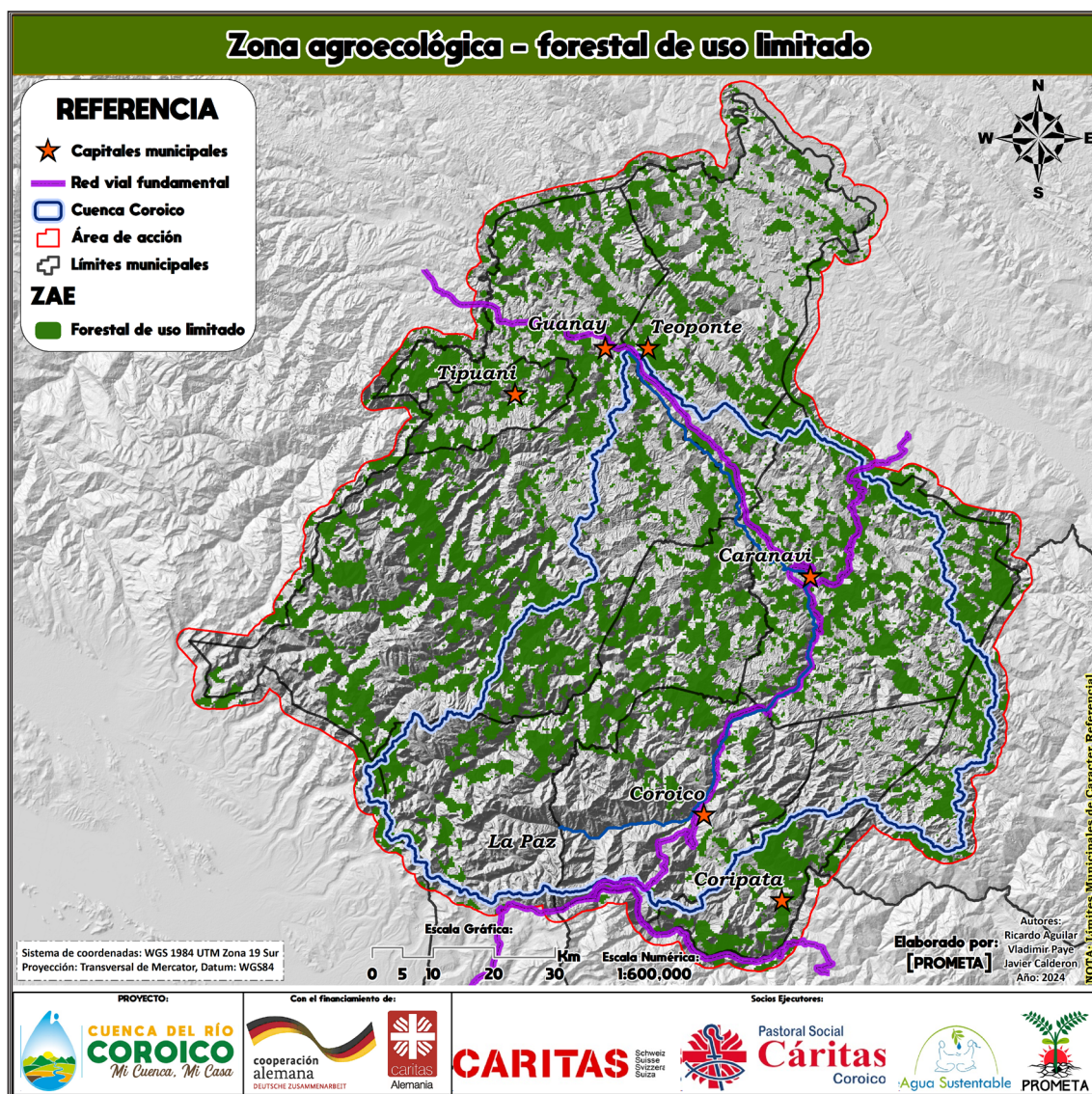


5.9.5. Zona agroecológica Ganadero extensivo

Este tipo de zonificación indica que las áreas están destinadas principalmente a la **ganadería extensiva**, que es un sistema de producción donde el ganado se cría en grandes áreas con menor manejo intensivo, dependiente del pastoreo natural. Las regiones incluidas en esta clasificación están en gran parte destinadas al manejo sostenible de ganado en regiones con ciertas limitaciones de uso del suelo.



Zona agroecológica - forestal de uso limitado



ZAE	PROVINCIA	MUNICIPIO	Ha
Ganadero extensivo	Nor Yungas	Coroico	181.0
	Caranavi	Caranavi	2,134.8
	Larecaja	Guanay	19,865.6
	Larecaja	Teoponte	5,513.2
	Larecaja	Tipuani	2,361.5
	Nor Yungas	Coripata	16.0
	Murillo	Nuestra Señora de La Paz	2,475.3
Total			32,547.4

Las provincias involucradas en la ganadería extensiva muestran variaciones en la extensión de tierras asignadas a esta actividad:

- Nor Yungas: Incluye los municipios de Coroico (181.0 Ha) y Coripata (16.0 Ha), con un total de 197.0 Ha, lo que indica que la ganadería extensiva no es el uso predominante del suelo, posiblemente debido a factores geográficos o la competencia con otras actividades, como la conservación forestal o la agricultura.
- Caranavi: Tiene 2,134.8 Ha destinadas a la ganadería extensiva, lo que refleja que esta actividad es significativa en la región y que las tierras son adecuadas para la cría de ganado.
- Larecaja: Los municipios de Guanay, Teoponte y Tipuani suman un total de 27,740.3 Ha, con Guanay destacando con 19,865.6 Ha. Esto muestra que la ganadería extensiva es una actividad importante en esta provincia, especialmente en Guanay.
- Murillo: El municipio de Nuestra Señora de La Paz tiene 2,475.3 Ha bajo ganadería extensiva, lo que también contribuye de manera significativa a esta actividad en la región.

Guanay es el municipio con la mayor extensión de tierras dedicadas a la ganadería extensiva, lo que sugiere que las condiciones en la zona son adecuadas para esta actividad. En contraste, Coripata tiene solo 16.0 Ha, lo que indica que la ganadería no es predominante debido a características geográficas desfavorables o a la presencia de otros usos del suelo. En total, se destinan 32,547.4 Ha a la ganadería extensiva en la región, reflejando un compromiso moderado con esta actividad, especialmente en Larecaja, que representa más del 77% del área total dedicada a este uso. Esto sugiere que la ganadería extensiva es relevante, pero no el uso predominante del suelo en todas las provincias involucradas.

La ganadería extensiva, basada en pastoreo natural, es menos intensiva en términos de insumos, pero requiere grandes extensiones de tierra, lo que la convierte en una estrategia viable en áreas como Guanay y Teoponte, donde existen grandes áreas de pastizales. Sin embargo, este modelo tiene limitaciones en su intensidad de producción debido a la dependencia de recursos naturales en lugar de sistemas agrícolas más avanzados.

En resumen, Guanay es el municipio más importante para la ganadería extensiva, seguido por Teoponte y Tipuani en la provincia de Larecaja, mientras que Nor Yungas presenta una presencia limitada de tierras dedicadas a esta actividad, lo que sugiere que otras actividades económicas predominan en la región.

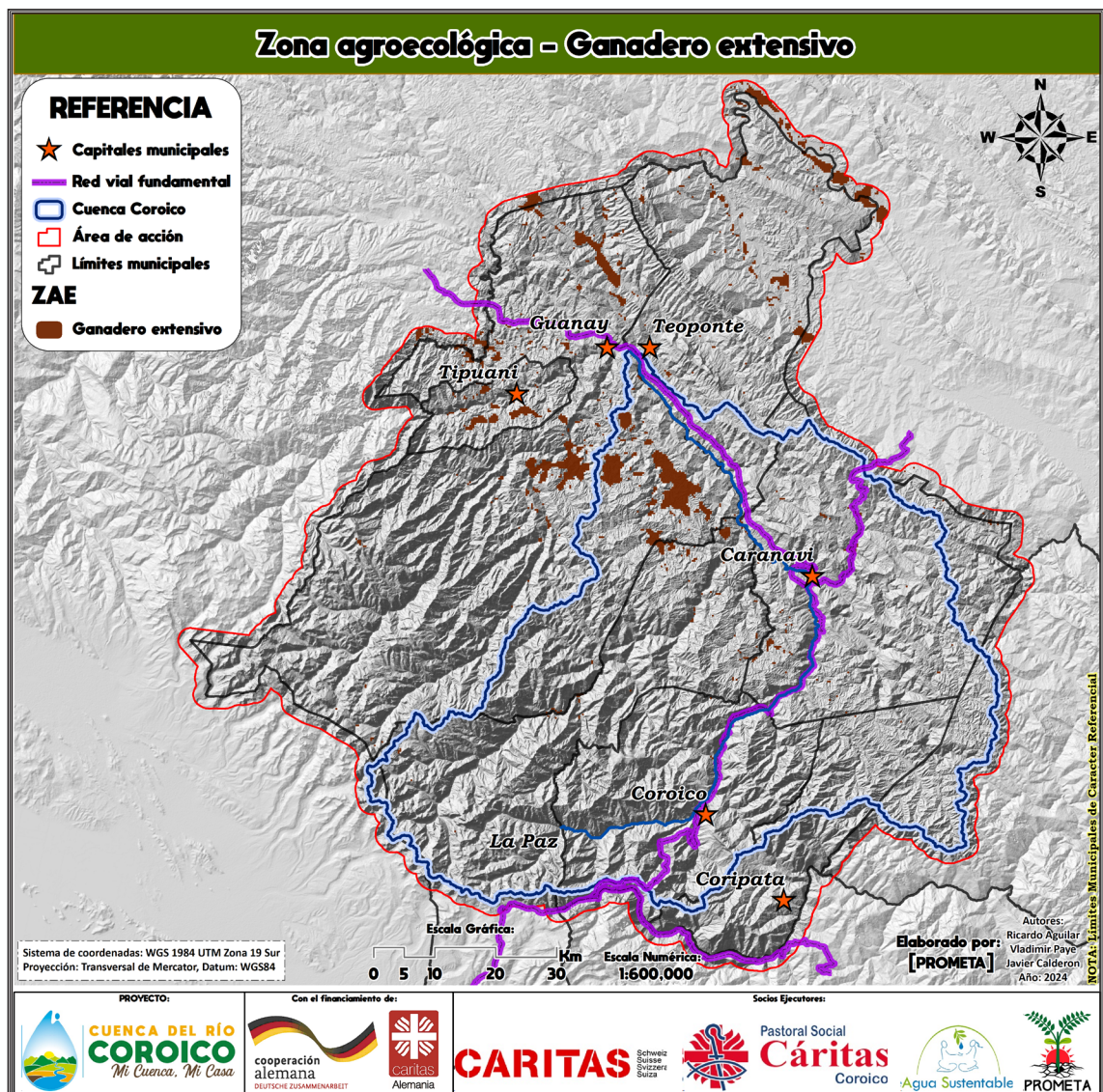
5.9.6. Zona agroecológica Protección

Esta La Zonificación Agroecológica de Protección identifica áreas destinadas principalmente a la conservación y preservación de recursos naturales, biodiversidad y ecosistemas frágiles. Estas zonas se caracterizan por su importancia ecológica y su



función en la provisión de servicios ambientales esenciales, como la regulación del ciclo hidrológico, la conservación del suelo y la captura de carbono. La designación de estas áreas busca limitar actividades humanas intensivas, promoviendo prácticas sostenibles que minimicen el impacto ambiental y fomenten la resiliencia de los ecosistemas.

En el contexto de la zonificación agroecológica, la categoría de Protección se centra en la identificación y delimitación de áreas que, por sus características naturales, requieren medidas especiales para garantizar su integridad ecológica. Estas áreas pueden incluir parques nacionales, reservas naturales, zonas de recarga hídrica y otros espacios de alto valor ambiental. La gestión de estas zonas implica la implementación de políticas y acciones orientadas a su conservación, restauración y uso sostenible, asegurando la continuidad de los procesos ecológicos y la biodiversidad.



Fuente: Elaboración propia

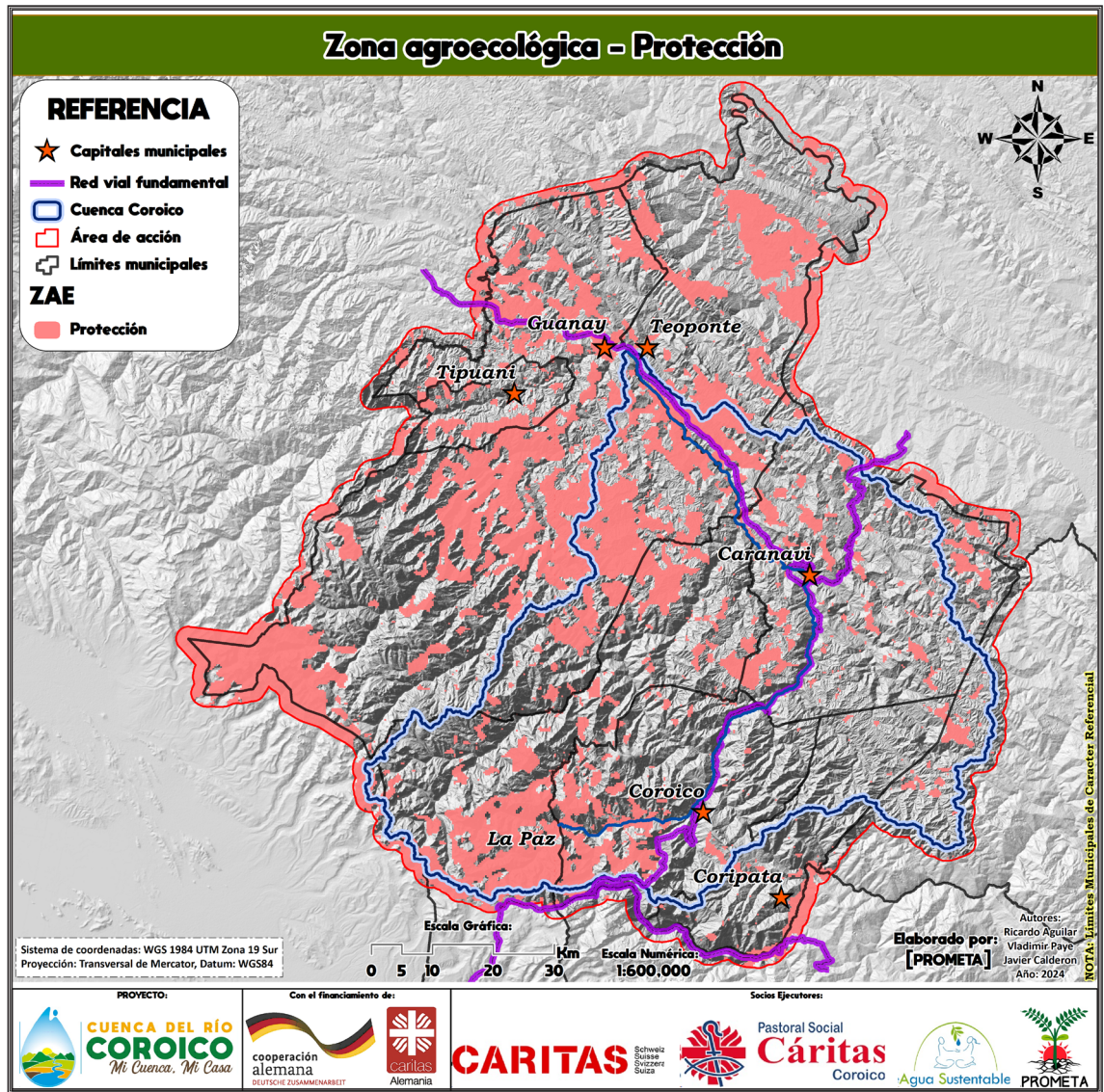
A continuación, se presenta una tabla que detalla la superficie destinada a la Zonificación

ZAE	PROVINCIA	MUNICIPIO	Ha
Protección	Nor Yungas	Coroico	19,147.4
	Caranavi	Caranavi	20,857.3
	Larecaja	Guanay	130,624.0
	Larecaja	Teoponte	40,693.6
	Larecaja	Tipuani	6,360.9
	Nor Yungas	Coripata	4,148.7
	Murillo	Nuestra Señora de La Paz	46,700.5
Total			268,532.4

El municipio de Guanay destaca con 130,624.0 hectáreas bajo protección, representando aproximadamente el 48.6% del total asignado a esta categoría. Le siguen Nuestra Señora de La Paz con 46,700.5 hectáreas (17.4%) y Teoponte con 40,693.6 hectáreas (15.2%). Estos datos reflejan un compromiso significativo con la conservación en estas áreas, posiblemente debido a la presencia de ecosistemas sensibles o áreas de importancia ecológica.

La implementación de zonas de protección dentro de la zonificación agroecológica es esencial para salvaguardar la biodiversidad, mantener los servicios ecosistémicos y garantizar la sostenibilidad ambiental a largo plazo. Estas áreas actúan como reservas naturales que contribuyen a la mitigación del cambio climático, la conservación de especies y la provisión de recursos naturales para las generaciones futuras.

Es importante destacar que la Zonificación Agroecológica es una herramienta clave en la planificación territorial y el uso sostenible de la tierra. Permite identificar áreas prioritarias para la conservación de recursos naturales, la realización de actividades agrícolas sostenibles y la protección de ecosistemas frágiles, contribuyendo así al desarrollo sostenible y equilibrado del territorio.



BIBLIOGRAFÍA

Altieri, M. A., & Nicholls, C. I. (2005). Agroecología: Teoría y práctica para una agricultura sustentable. PNUMA.

FAO (2001). Manual de sistemas agroforestales. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).

Blum, H., et al. (2023). Strengthening multi-stakeholder agroecology platforms in Peru. Report, CIAT; Biodiversity International.

Moral, F.J., et al. (2022). Comparative Analysis of Pasture Soil Fertility in Semiarid Agro-Silvo-Pastoral Systems. *Agronomy* 12, 2711.

Freitas, I.C.d., et al. (2022). Soil Carbon and Nitrogen Stocks under Agrosilvopastoral Systems. *Agronomy* 12, 2926.

FAO (2005). Evaluación y Clasificación de Suelos para Ganadería Extensiva. FAO.

Lal, R. (2006). *Encyclopedia of Soil Science*. CRC Press.





MAPA GRANDE PLEGADO

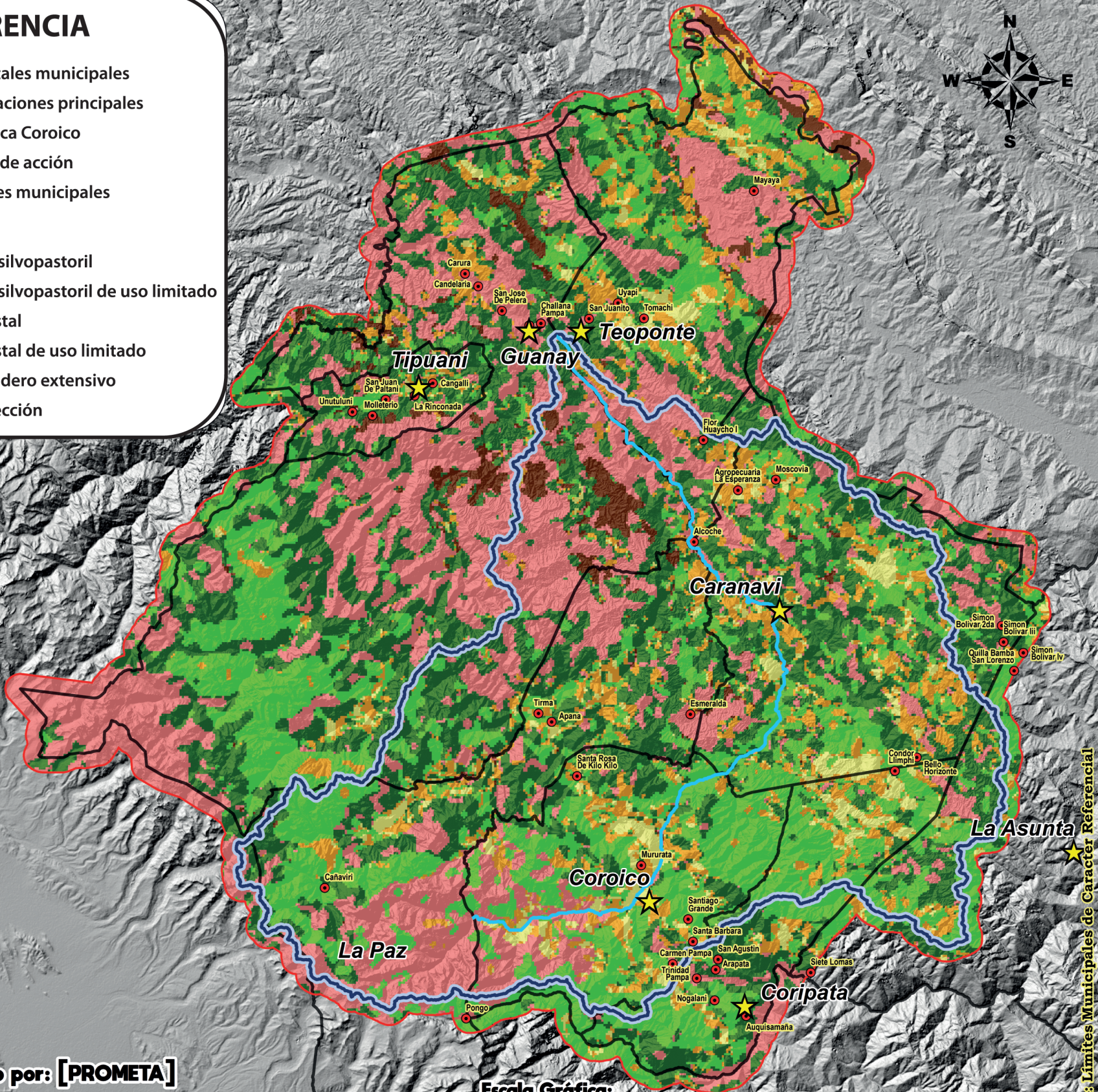
ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA

REFERENCIA

- ★ Capitales municipales
- Poblaciones principales
- ▭ Cuenca Coroico
- ▭ Área de acción
- ▭ límites municipales

ZAE

- Agrosilvopastoril
- Agrosilvopastoril de uso limitado
- Forestal
- Forestal de uso limitado
- Ganadero extensivo
- Protección



Elaborado por: [PROMETA]

Autores:
Ricardo Aguilar, Vladimir Paye, Javier Calderon
Año: 2024



Escala Numérica:
1:550,000

NOTA: Límites Municipales de Caracter Referencial

MUNICIPIO	Coroico	Caranavi	Guanay	Teoponte	La Paz	Coripata	Tipuani	Cuenca Coroico
Agrosilvopastoril	8%	6%	1%	4%	2%	8%	2%	5%
Agrosilvopastoril de uso limitado	14%	15%	5%	16%	8%	12%	6%	12%
Forestal	45%	24%	18%	18%	26%	47%	12%	28%
Forestal de uso limitado	15%	41%	35%	29%	31%	26%	48%	29%
Ganadero extensivo	0%	1%	4%	2%	1%	0%	7%	2%
Protección	18%	13%	36%	30%	31%	6%	26%	23%

PROYECTO:

Con el financiamiento de:

Socios Ejecutores:

