



PREFACTIBILIDAD DEL PROYECTO
FOTOVOLTAICO LA CEIBA

ANEXO 1.- PLAN DETALLADO DEL
SITIO

Unidad de Negocios GENSUR
Departamento de Ingeniería
Agosto-2024

Contenido

1.	Introducción	3
2.	Objetivo	4
3.	Metodología	4
3.1.	Revisión bibliográfica.....	6
3.2.	Obtención de información	6
3.3.	Cálculo de modelo de aptitud (MA)	6
3.4.	Cálculo de modelo de impacto (MI)	8
3.5.	Modelo de capacidad de acogida (MCA).....	11
4.	Resultados	11
4.1.	Modelo de aptitud (MA).....	11
4.1.1.	Pendiente.....	11
4.1.2.	Radiación.....	12
4.1.3.	Vías de acceso y redes eléctricas	13
4.2.	Modelo de impacto (MI)	15
4.2.1.	Recursos hídricos	15
4.2.2.	Centros Poblados	16
4.2.3.	Uso de suelo.....	17
4.2.4.	Áreas protegidas	18
4.3.	Modelo de capacidad de acogida.....	20
5.	Conclusiones	20
6.	Elaboración y validación	21
7.	Anexos.....	22

1. Introducción

Inicialmente, CELEC EP – GENSUR consideró el “**Atlas Solar del Ecuador con fines de Generación Eléctrica**” para iniciar campañas de medición del recurso solar disponible en los emplazamientos con mejor disponibilidad de recurso solar en la provincia de Loja. Ante esa situación, se seleccionaron 2 emplazamientos, los cuales son: **La Ceiba y Matala**.

Ante esa situación, la Unidad de Negocio CELEC EP – GENSUR desarrollo un portafolio de proyectos de Energía Renovable No Convencional (ERNC), dentro del cual se encuentran los dos (2) proyectos de generación fotovoltaica antes mencionados.

Actualmente, se cuenta con más de tres años de datos de variables fotovoltaicas recopiladas para ambos emplazamientos, es decir, tiempo suficiente para determinar la prefactibilidad y factibilidad de un proyecto de generación fotovoltaica.

En este contexto, se ha identificado la necesidad de realizar un **Plan Detallado del Sitio**, que consiste en aplicar métodos de análisis multicriterio para comprobar que los respectivos emplazamientos sean lo más óptimos posibles. En mencionado análisis se considera los siguientes criterios: *pendiente, radiación, cercanía vías y redes, áreas protegidas, Centros poblados, Hidrología, uso de suelo*.

Para valorar la importancia de los criterios se empleó el Método Analítico Jerárquico (MAJ). Se integró un modelo de capacidad de acogida (MCA) que incluyó un modelo de aptitud (MA), donde se analizaron criterios económicos y técnicos, y un modelo de impacto (MI), que evaluó variables ambientales. Al integrar estos modelos, la metodología permitió la evaluación del emplazamiento y el análisis del comportamiento del Proyecto Fotovoltaico **La Ceiba**.

2. Objetivo

- Evaluar el emplazamiento del Proyecto Fotovoltaico La Ceiba mediante criterios técnicos, económicos y; de impacto ambiental y social.

3. Metodología

A continuación, se muestra el diagrama de flujo mediante el método de EM (Elementos modulares).

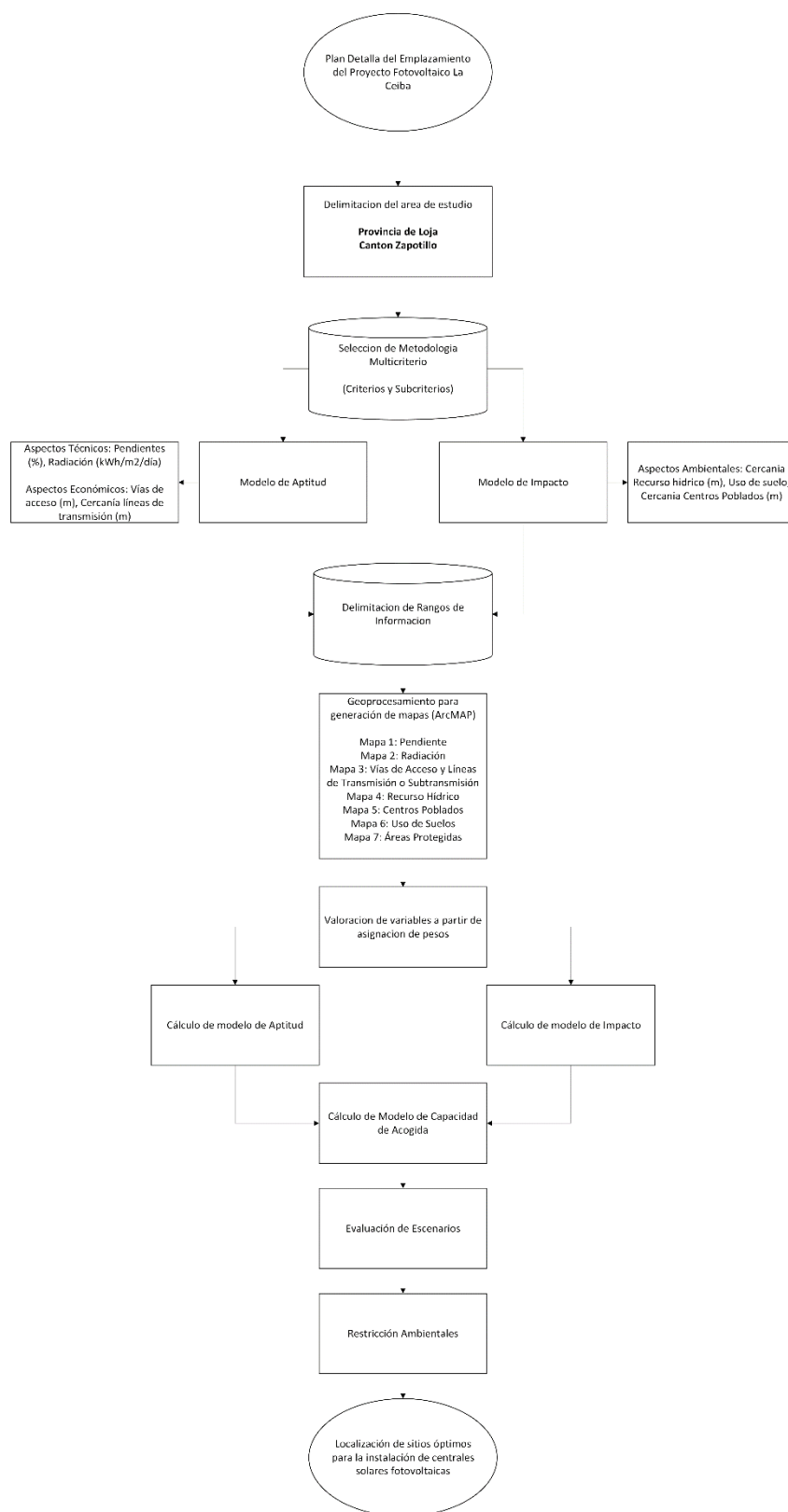


Ilustración 1 Diagrama de flujo

En base al diagrama de flujo antes mencionado, se elaboran los mapas multicriterio mediante el geoprocesamiento de la información en el SIG.

3.1. Revisión bibliográfica

En la tabla 1 se realiza la síntesis de la información recolectada a partir de la revisión bibliográfica para seleccionar los criterios y subcriterios relevantes para localización de los futuros proyectos fotovoltaicos.

Tabla 1 Criterios para la localización

Criterio	Subcriterio	Referencia
Técnico	Pendientes (%)	Cevallos-Sierra & Ramos-Martin (2018)
Técnico	Radiación (kWh/m2/día)	Cevallos-Sierra & Ramos-Martin (2018)
Económico	Vías de comunicación (m)	Cevallos-Sierra & Ramos-Martin (2018)
Económico	Conexión a líneas de transmisión (m)	Cevallos-Sierra & Ramos-Martin (2018)
Ambientales	Hidrología (m)	Cevallos-Sierra & Ramos-Martin (2018)
Ambientales	Uso de suelo	Cevallos-Sierra & Ramos-Martin (2018)
Ambientales	Centros Poblados (m)	Al Garni & Awasthi (2017)
Ambientales	Áreas Protegidas	Cevallos-Sierra & Ramos-Martin (2018)

3.2. Obtención de información

Se recopiló información cartográfica de los criterios y subcriterios de las páginas oficiales del Instituto Geográfico Militar, Ministerio de Agricultura y Ganadería, secretaria nacional de Planificación y Desarrollo (SENPLADES); y Atlas Solar Global en los formatos antes mencionados, con el fin de ser geo-procesados.

3.3. Cálculo de modelo de aptitud (MA)

En esta fase se seleccionaron los subcriterios correspondientes a los criterios técnicos y económicos. Este modelo sirvió como base para identificar las alternativas para cada posible localización para el emplazamiento en el sitio de estudio, es decir, brinda una

idea preliminar. Para la construcción de este modelo se analizan los siguientes subcriterios:

- **SC1 Pendiente (%)**: Para la construcción de proyectos fotovoltaicos a gran escala se debe evitar pendientes altas. Las pendientes planas o bajas facilitarían la etapa de construcción e instalación de paneles solares.
- **SC2 Radiación Solar (kWh/m²/día)**: La cantidad de radiación solar es un criterio técnico considerado para el análisis del emplazamiento de los proyectos a gran escala. Este valor indica la cantidad de energía solar que irradia sobre alguna superficie durante cierto periodo de tiempo.
- **SC3 Vías de acceso (m)**: La cercanía con carreteras es un subcriterio analizado por el impacto que tendría en la reducción de costos durante la fase de construcción, operación y mantenimiento, evitando gastos adicionales en la construcción de vías de acceso.
- **SC4 Cercanía a líneas de transmisión (m)**: Si no se cuenta con líneas de transmisión cercas serpa necesario realizar las instalaciones para llegar a la red, lo cual es un aumento considerable en el aumento de los costos de construcción e inversión del proyecto.

Para la obtención de los mapas-multi criterio se adaptaron los subcriterios en una escala del 0 al 1 en intervalos de 0.25, desde no adecuado, hasta altamente adecuado. Este resultado refleja el grado de cumplimiento según las características necesarias para la localización de los distintos proyectos fotovoltaicos.

En la tabla 2, se puede analizar los subcriterios de las respectivas restricciones establecidas. Así mismo, fue necesario normalizar los datos en una escala entre 0 y 1 mediante los siguientes factores:

Tabla 2 Pesos identificativos mediante método MAJ

Modelo	Subcriterio	Pesos
MA	SC1	0.11
	SC2	0.41
	SC3	0.24
	SC4	0.24

Estas capas se integraron mediante la asignación de pesos a cada subcriterio según su importancia mediante el MAJ. Se realizó la multiplicación de cada peso por el subcriterio respectivo y luego se sumó cada uno de los resultados obtenidos para establecer el MA como se indica en la ecuación 1.

$$MA = \omega_1 SC_1 + \omega_2 SC_2 + \omega_3 SC_3 + \omega_4 SC_4 \quad (1)$$

A partir del geoprocetamiento, a cada criterio se le asignó un valor según el grado de aptitud que presentó cada área en el mapa multicriterio.

Tabla 3 Criterios técnicos y económicos

Escala	Significado	SC1 Pendiente (%)	SC2 Radiación (kWh/m2/día)	SC3 Vías de acceso (m)	SC4 Cercanía a líneas de transmisión
0	No adecuado	>20	<3.8	0-240 >10000	0 a 300 >20000
0.33	Menos Adecuado	10 a 20	3.8 a 4.5	6000 a 10000	15000-20000
0.67	Adecuado	5 a 10	4.5 a 5.0	3500 a 6000	6500 a 15000
1	Altamente adecuado	0 a 5	> 5	240 a 3500	300 a 6500

3.4. Cálculo de modelo de impacto (MI)

En esta fase se seleccionó criterios correspondientes a las características ambientales que resultan determinantes para valorar el impacto causado por el emplazamiento. Las alternativas que produzcan un menor impacto ambiental serán consideradas como las

óptimas para su implementación. Para la construcción de este modelo se analizan los siguientes subcriterios:

- **SC5 Cercanía al recurso hídrico (km):** La cercanía al recurso hídrico puede facilitar el mantenimiento y la construcción de la central de generación fotovoltaica, en contraposición, este puede contribuir a la contaminación del medio ambiente. Por lo que se considera que el punto medio es la mejor opción.
- **SC6 Uso de suelo:** Este subcriterio puede afectar tanto a la parte ambiental como a la parte económica. Además, se puede tener en cuenta que árboles de gran altura pueden provocar sombra lo que no permitirá el paso de la radiación solar. De la misma manera, suelos aptos para cultivo pueden afectar a la economía del agricultor de la zona. Suelos erosionados y vegetación arbustiva puede ser usados para la construcción de los diferentes proyectos fotovoltaicos.
- **SC7 Cercanía a centros poblados:** Este subcriterio puede considerarse controversial, ya que, la cercanía con centros poblados puede disminuir los costos de conexión a la red, y reducir las pérdidas, no obstante, al mismo tiempo puede causar un impacto visual o malestar a la población por la cercanía.

De la misma manera, para la obtención del MI se realizó un geoprocesamiento similar, siguiendo la metodología del modelo anterior.

Inicialmente para la obtención de los mapas-multicriterio, SC5 y SC6 se clasificaron en escala booleana, donde 0 corresponde a un mayor impacto, y 1 menor impacto, como se observa en la tabla 4.

Tabla 4 Criterio de impacto ambiental

Escala	SC5 Cercanía a recursos hídricos	SC7 Cercanía a centros poblados
0 – Mayor Impacto	0 a 500	0 a 5000
1 – Menor Impacto	>500	>5000

La evaluación del SC6 se dividió en 3, los cuales evaluaron un impacto alto, medio y bajo como se observa en la tabla 5.

Tabla 5 Criterio de impacto ambiental

Escala	SC6 Uso de suelos
0 – Mayor Impacto	Asentamientos poblados
	Bosque natural
	Cuerpo de agua
	Paramo
	Plantaciones forestales
0,5 – Impacto Medio	Arboricultura
	Cultivos
	Cultivo de ciclo corto
	Cultivo indiferenciado
1 – Menor Impacto	Área erosionada
	Pastos naturales
	Pastos plantados
	Vegetación arbustiva

Se realizó la multiplicación de cada peso por el subcriterio respectivo y luego se realiza la suma de cada resultado como se muestra a continuación en la ecuación 2.

$$MI = \omega_5 SC_5 + \omega_6 SC_6 + \omega_7 SC_7 \quad (2)$$

Con relación a estos subcriterios se les asignó un valor entre 0 y 1 evaluando el nivel de impacto ambiental entre alto y bajo, según la tabla que se adjunta a continuación:

Modelo	Subcriterio	Pesos
MI	SC5	0.30
	SC6	0.33
	SC7	0.37

3.5. Modelo de capacidad de acogida (MCA)

Para encontrar el MCA fue necesario integrar el MA y el MI, este modelo permitió visualizar las alternativas para las zonas optimas de localización de los proyectos fotovoltaicos.

$$MCA = \beta MA + \alpha MI \quad (3)$$

Se considera al MI más importante por lo que asigna a α el peso equivalente a 0.60 y al de MA β el peso de 0.40. En base a estos valores la ecuación de MCA, quedaría la siguiente manera:

$$MCA = (0.4)MA + (0.6)MI \quad (4)$$

4. Resultados

En base a los mapas que se adjuntan como anexos se presenta el resultado del presente análisis de: **La Ceiba**.

4.1. Modelo de aptitud (MA)

4.1.1. Pendiente

Según el mapa de pendientes del emplazamiento, se determina que en promedio existen pendientes de 10°, siendo este “adecuado”.

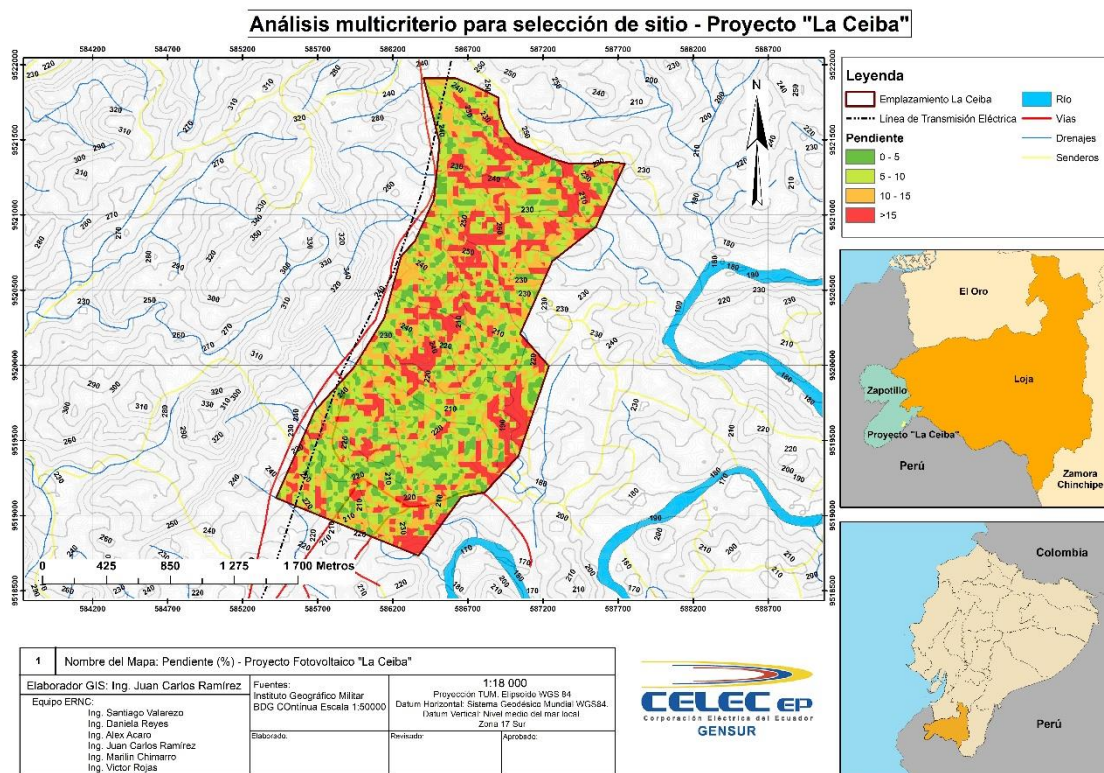


Ilustración 2 Pendientes

4.1.2. Radiación

Según el mapa de radiación del emplazamiento, se determina que, según los datos meso-escalares del **Atlas Global Solar**, el lugar posee valores de radiación mayores de 5 kWh/m² día, siendo este “altamente adecuado”.

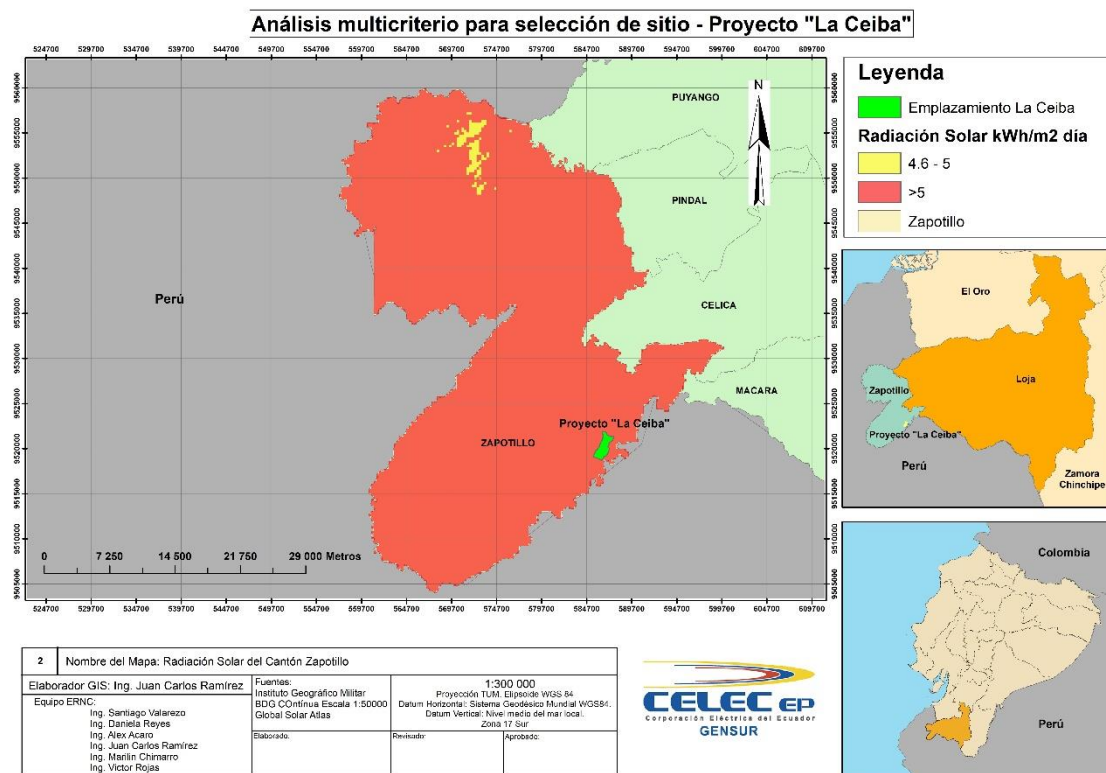


Ilustración 3 Radiación

4.1.3. Vías de acceso y redes eléctricas

Según el mapa de vías de acceso y redes eléctricas, se determina que en el apartado de las vías de acceso el emplazamiento es “Altamente adecuado”, ya que existen varias vías cerca del lugar. Sin embargo, en el apartado de redes eléctricas, es todo lo contrario. La distancia a la línea de transmisión mas cercana es de mas <20000m, sienta este “no adecuado”.

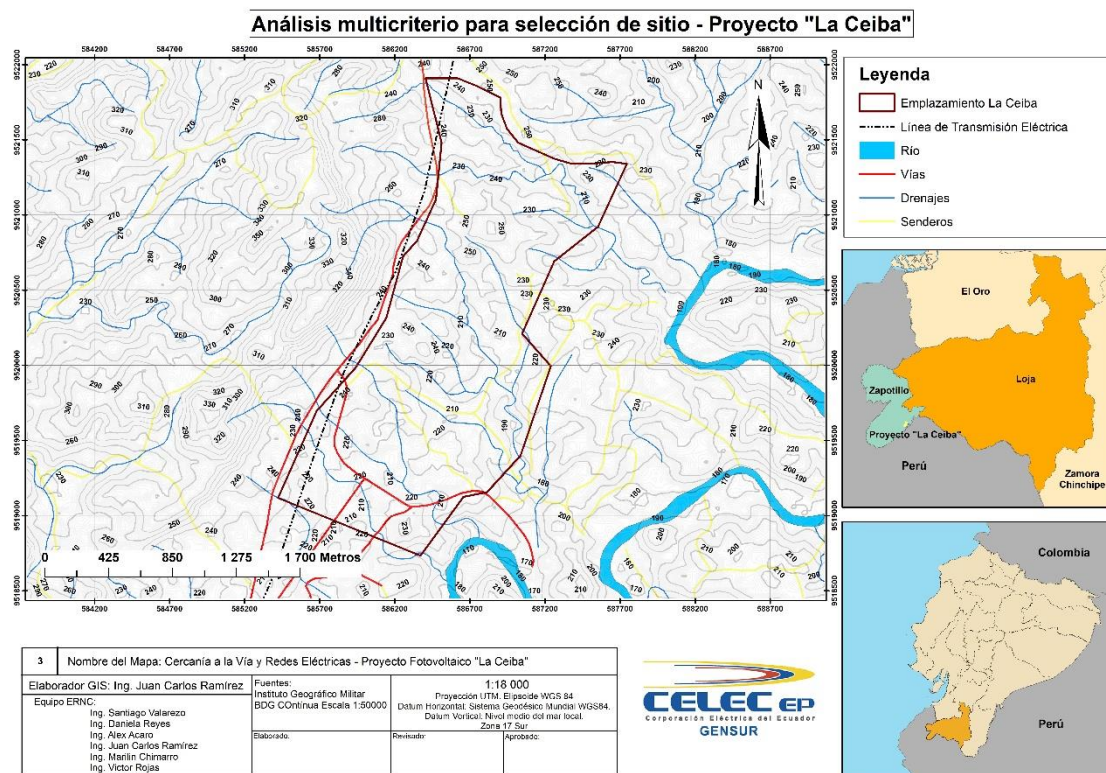


Ilustración 4 Vías de acceso y redes eléctricas

Por lo que, los resultados cuantitativos para el Modelo de Aptitud (MA), se lo expresa en la siguiente tabla:

Criterios técnicos y económicos Proyecto Fotovoltaico La Ceiba

SC1 Pendiente (%)	0.67
SC2 Radiación (kWh/m2/día)	1
SC3 Vías de acceso (m)	1
SC4 Cercanía a líneas de transmisión	0

TOTAL

2,67

Dados estos antecedentes, se realiza la evaluación respectiva para el cálculo del MA, como de lo detalla a continuación:

Proyecto Fotovoltaico La Ceiba

$$MA = \omega_1 SC_1 + \omega_2 SC_2 + \omega_3 SC_3 + \omega_4 SC_4$$

$$MA = (0.11)(0.67) + (0.41)(1) + (0.24)(1) + (0.24)(0)$$

$$MA = 0.72$$

4.2. Modelo de impacto (MI)

4.2.1. Recursos hídricos

Según el mapa de recursos hídricos y considerando un análisis geoespacial, se determina que existe un impacto en los recursos hídricos debido a la intersección de dos quebradas dentro del polígono de interés y a la proximidad según el buffer aplicado a 500m al río chira. La cercanía de los recursos hídricos aumenta la vulnerabilidad a posibles contaminaciones y alteraciones al flujo natural del recurso, siendo este de “mayor impacto”.

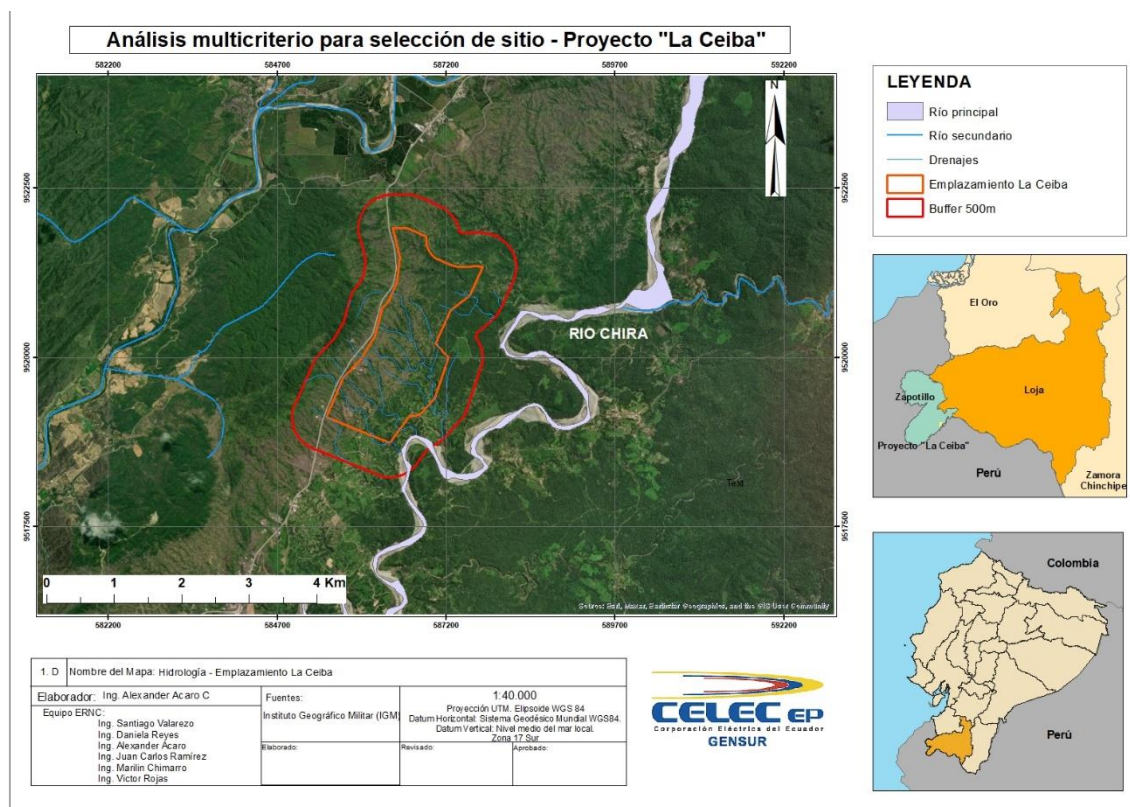


Ilustración 5 Recursos hídricos

4.2.2. Centros Poblados

Según el mapa de centros poblados y considerando un análisis geoespacial, se determina que es posible que exista un impacto a los pueblos aledaños al sector, sin embargo, al considerarse energías limpias, y tomando en cuenta el número de habitantes de cada pueblo se evalúa como “menor impacto”.



Ilustración 6 Centros Poblados

4.2.3. Uso de suelo

Según el mapa de uso de suelo y considerando un análisis geoespacial, se determina que en el emplazamiento del proyecto se encuentran 3 tipos de suelos: bosque nativo, vegetación arbustiva y área sin cobertura vegetal. Para la construcción del proyecto se implementará un plan de manejo ambiental para el desbroce del bosque nativo, por lo que se considera de “menor impacto”

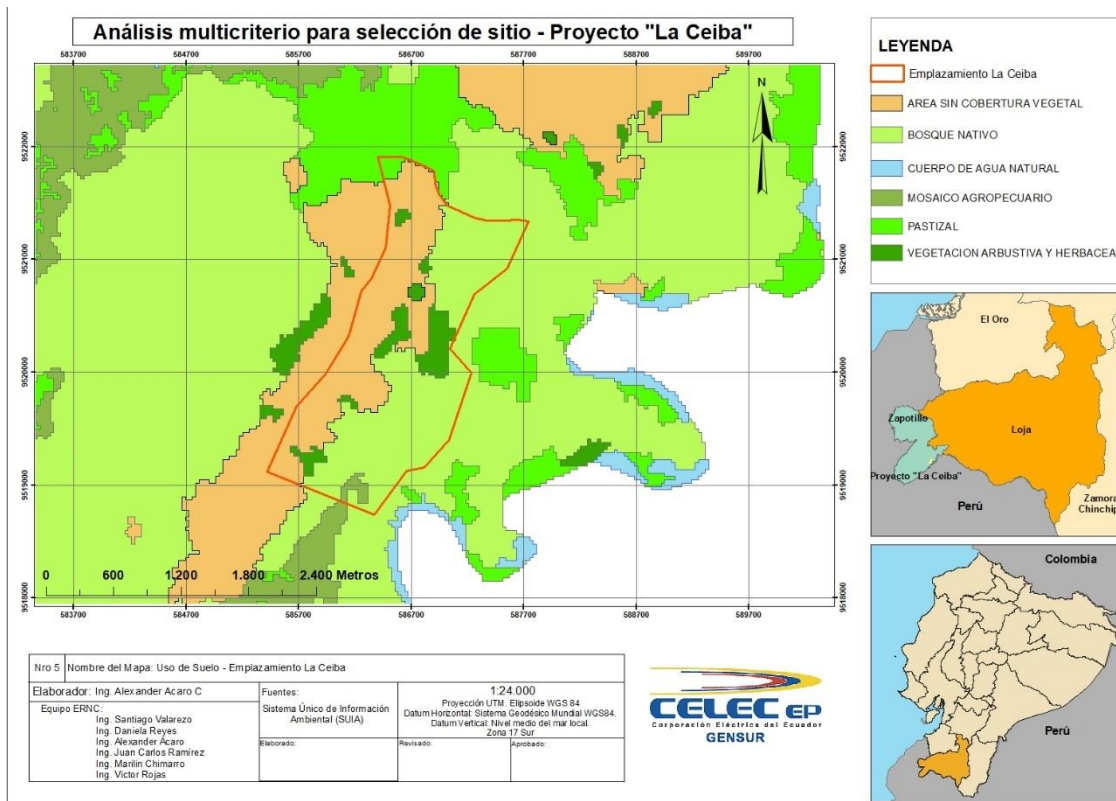


Ilustración 7 Uso de suelo

4.2.4. Áreas protegidas

Según el mapa de áreas protegidas, el emplazamiento del proyecto no cae dentro de ninguna figura de conservación, por lo que el proyecto puede seguir en desarrollo.

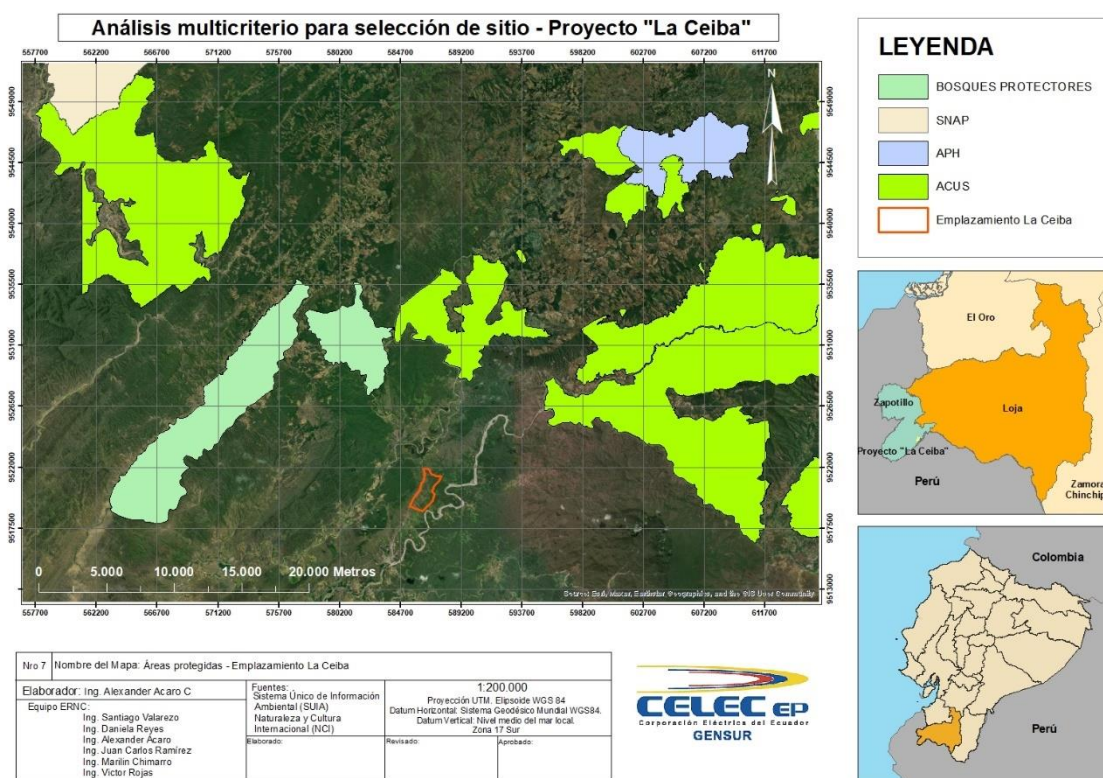


Ilustración 8 Áreas Protegidas

Por lo que, los resultados cuantitativos para el Modelo de Impacto (MI), se lo expresa en la siguiente tabla:

Tabla 6 Resultados del Modelo de Impacto

Criterios de impacto ambiental – Usos de suelo	Proyecto Fotovoltaico Macandamine
SC5 Cercanía a recursos hídricos (m)	0
SC6 Uso de suelos	1
SC7 Cercanía a centros poblados (m)	1
TOTAL	2

Dados estos antecedentes, se realiza la evaluación respectiva para el cálculo del MI, como de lo detalla a continuación:

Proyecto Fotovoltaico La Ceiba

$$MI = \omega_5 SC_5 + \omega_6 SC_6 + \omega_7 SC_7$$

$$MA = (0.30)(0) + (0.33)(1) + (0.37)(1)$$

$$MA = 0.7$$

4.3. Modelo de capacidad de acogida

Se presentan los resultados finales, y ponderamos del Modelo de Impacto y Modelo de Aptitud, en el que se refleja el siguiente resultado:

Proyecto Fotovoltaico La Ceiba

$$MCA = \beta MA + \alpha MI$$

$$MCA = (0.4)(0.72) + (0.6)(0.7)$$

$$MA = 0.71$$

Según el análisis realizado, obtenemos un valor de 0.71 lo cual se considera como **ACEPTABLE**. Con este antecedente, se puede plantear varias formas para mejorar el emplazamiento, entre ellas, realizar rellenos para bajar los niveles de pendientes.

5. Conclusiones

- El emplazamiento del Proyecto Fotovoltaico La Ceiba presenta un valor de Modelo de Capacidad de Acogida – MCA de 0.71 (aceptable), cumpliendo de buena manera con la mayoría de los criterios necesarios para la futura implementación del proyecto fotovoltaico.

- Dado que el emplazamiento es factible, es posible continuar con el proceso de prefactibilidad del proyecto.

6. Referencias

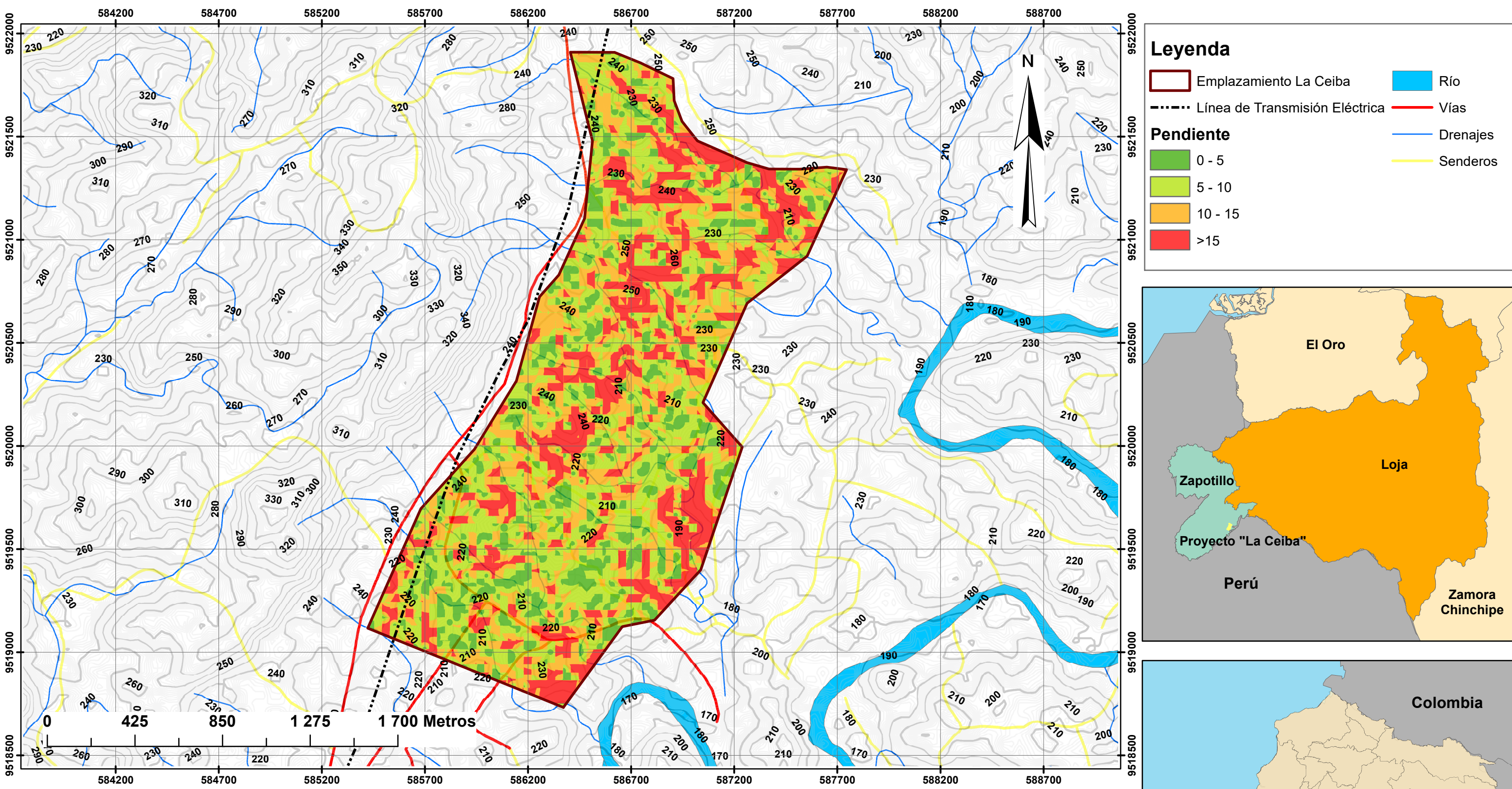
- Análisis multicriterio para la localización de centrales fotovoltaicas de gran escala. (2020) Novasinergia, ISSN 2631-2654, 3(2), pp. 47–56. doi:10.37135/ns.01.06.04.
- Al Garni, H., & Awasthi, A. (2017). Solar PV power site selection using a GIS-AHP based approach applications in Saudi Arabia. Applied Energy, 21225–1240. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.10.024>
- Cevallos-Sierra, J., & Ramos-Martin, J. (2018). Spatial assessment of the potential of renewable energy: The case of Ecuador. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 81, 1154–1165. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.08.015>

7. Elaboración y validación

Nombre		Cargo	Firma
Elaborado	Ing. Santiago Valarezo	Aprovechamiento de Recursos Energéticos Renovables	
Elaborado	Ing. Juan C. Ramirez	Geólogo	
Elaborado	Ing. Alexander Acaro	Técnico de Gestión Social y Ambiental	

8. Anexos

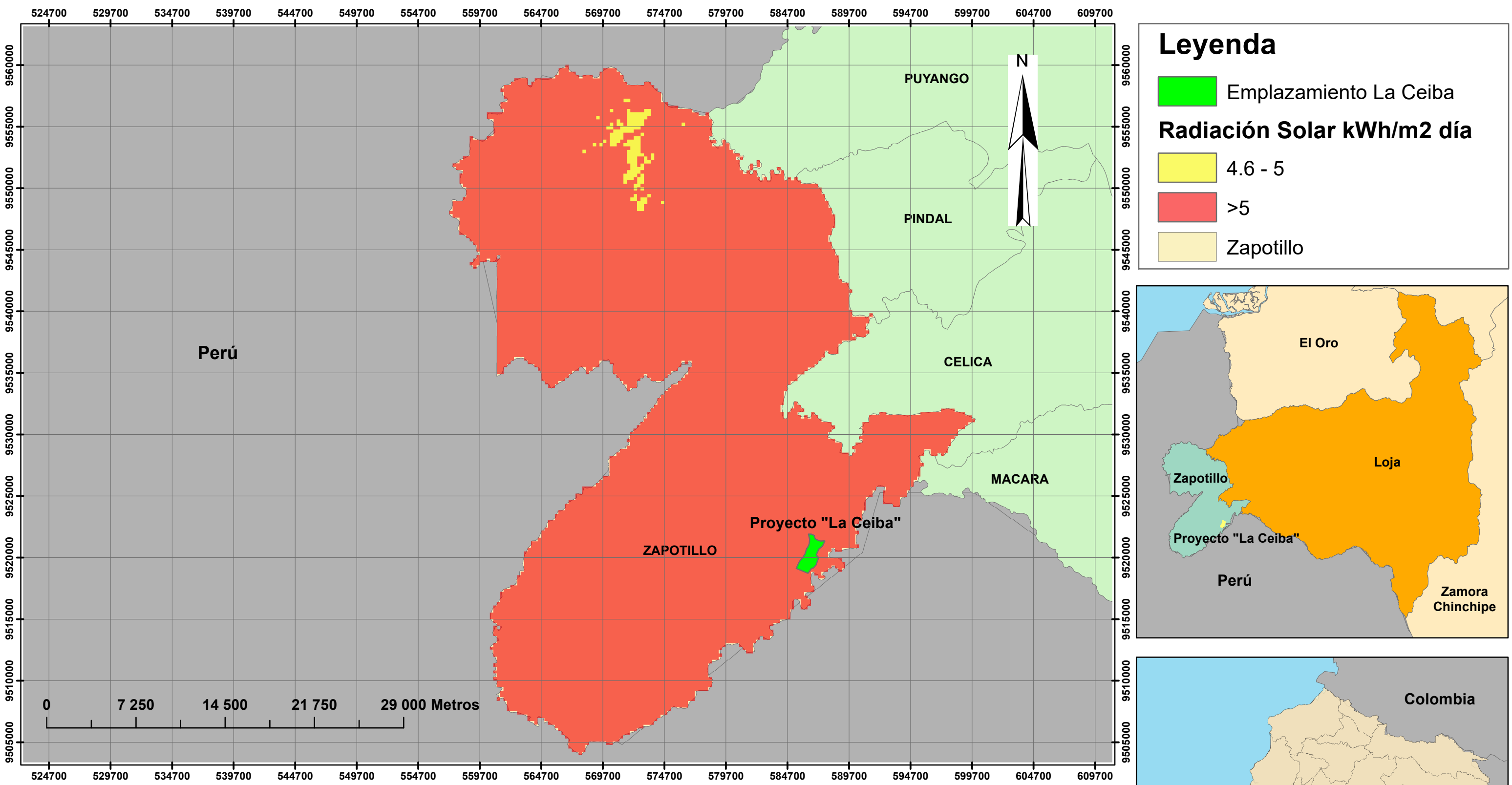
Análisis multicriterio para selección de sitio - Proyecto "La Ceiba"



1	Nombre del Mapa: Pendiente (%) - Proyecto Fotovoltaico "La Ceiba"		
Elaborador GIS: Ing. Juan Carlos Ramírez		Fuentes: Instituto Geográfico Militar BDG CONTínua Escala 1:50000	
Equipo ERNC: Ing. Santiago Valarezo Ing. Daniela Reyes Ing. Alex Acaro Ing. Juan Carlos Ramírez Ing. Marilin Chimarro Ing. Victor Rojas		1:18 000 Proyección TUM. Elipsoide WGS 84 Datum Horizontal: Sistema Geodésico Mundial WGS84. Datum Vertical: Nivel medio del mar local. Zona 17 Sur	
		Elaborado:	Revisado: Aprobado:



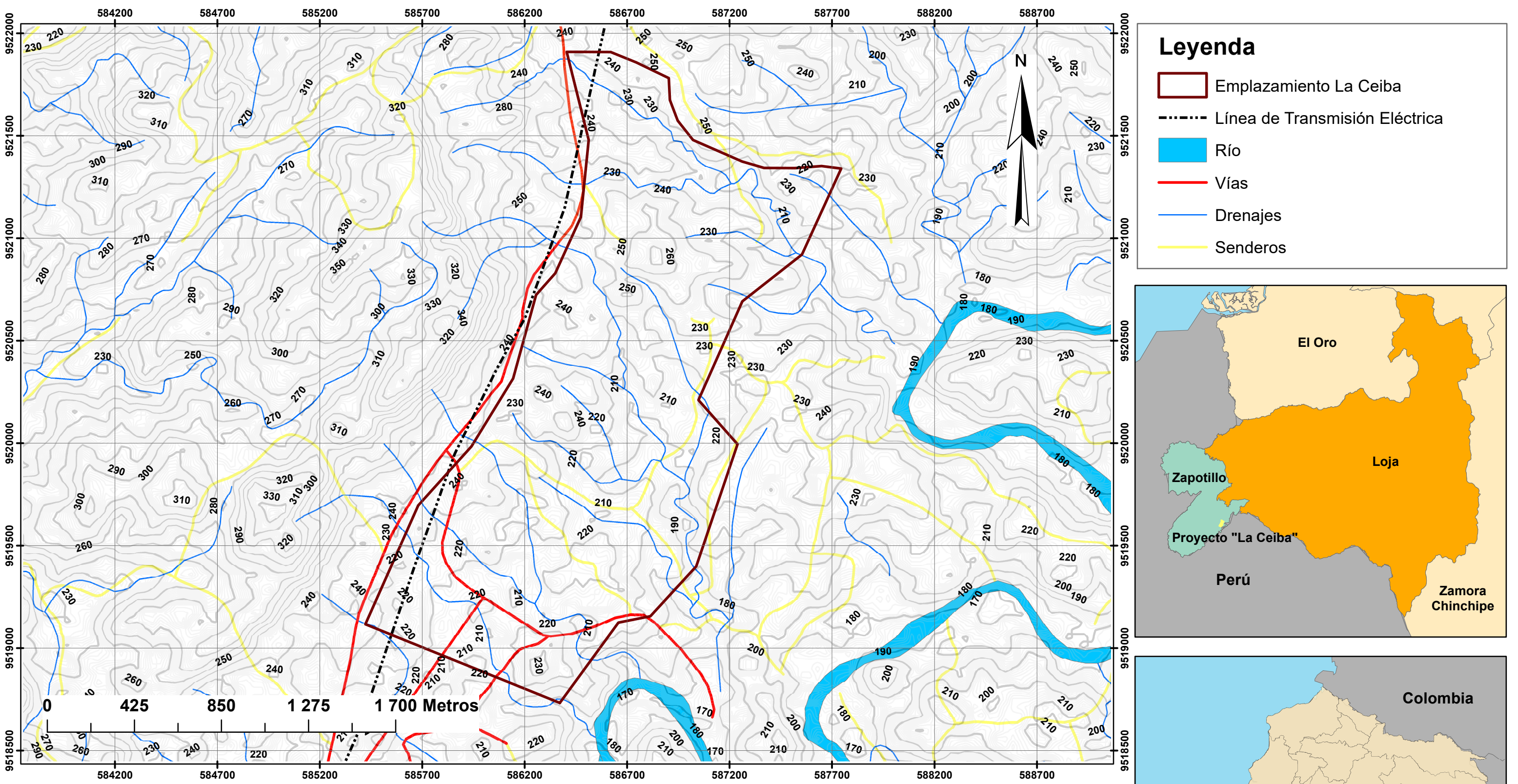
Análisis multicriterio para selección de sitio - Proyecto "La Ceiba"



2	Nombre del Mapa: Radiación Solar del Cantón Zapotillo		
Elaborador GIS: Ing. Juan Carlos Ramírez		Fuentes: Instituto Geográfico Militar BDG COntínua Escala 1:50000 Global Solar Atlas	
Equipo ERNC: Ing. Santiago Valarezo Ing. Daniela Reyes Ing. Alex Acaro Ing. Juan Carlos Ramírez Ing. Marilin Chimarro Ing. Victor Rojas		1:300 000 Proyección TUM. Elipsoide WGS 84 Datum Horizontal: Sistema Geodésico Mundial WGS84. Datum Vertical: Nivel medio del mar local. Zona 17 Sur	
Elaborado:		Revisado:	Aprobado:



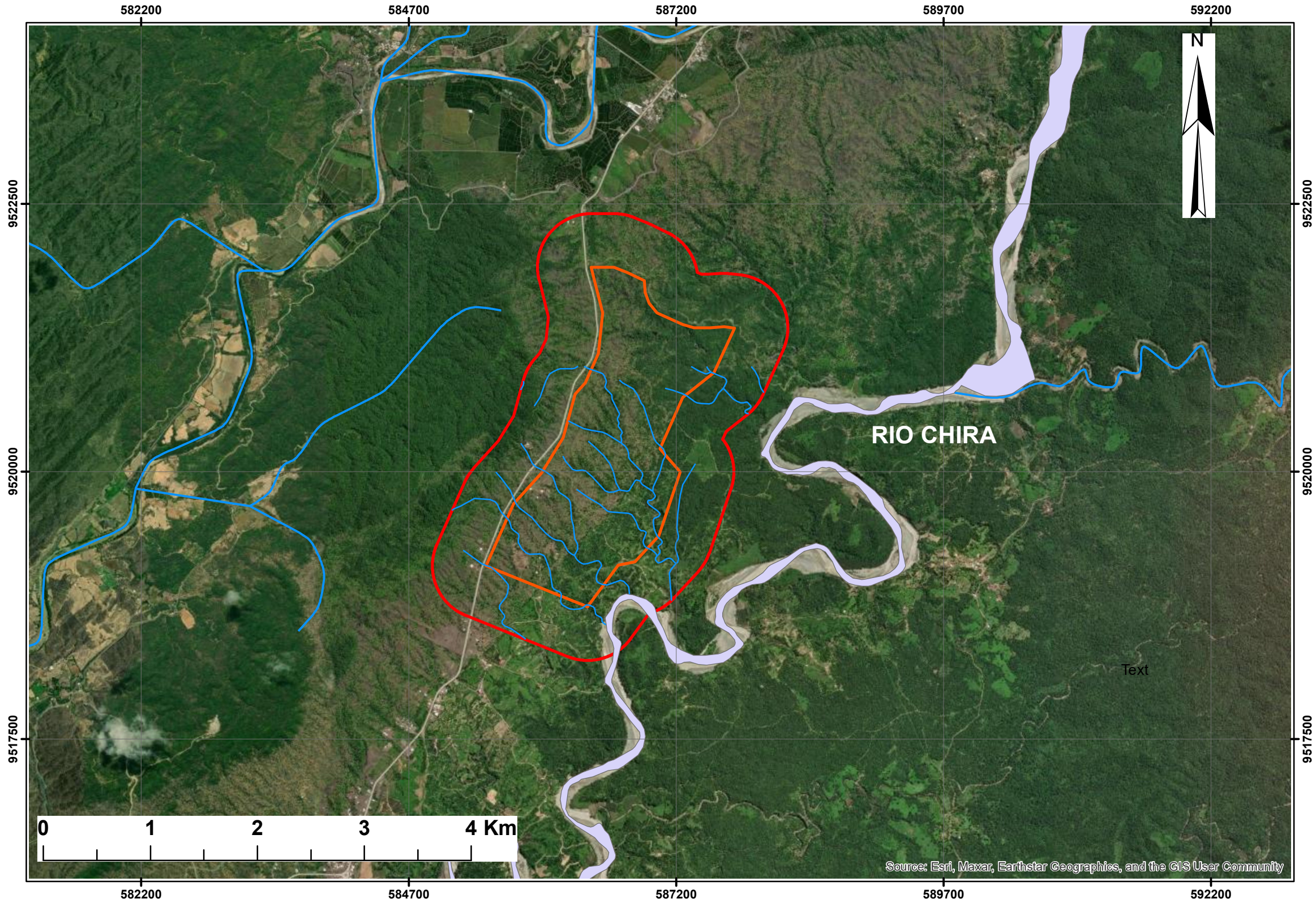
Análisis multicriterio para selección de sitio - Proyecto "La Ceiba"



3	Nombre del Mapa: Cercanía a la Vía y Redes Eléctricas - Proyecto Fotovoltaico "La Ceiba"		
Elaborador GIS: Ing. Juan Carlos Ramírez		Fuentes: Instituto Geográfico Militar BDG COntínua Escala 1:50000	1:18 000 Proyección UTM. Elipsoide WGS 84 Datum Horizontal: Sistema Geodésico Mundial WGS84. Datum Vertical: Nivel medio del mar local. Zona 17 Sur
Equipo ERNC: Ing. Santiago Valarezo Ing. Daniela Reyes Ing. Alex Acaro Ing. Juan Carlos Ramírez Ing. Marilin Chimarro Ing. Victor Rojas		Elaborado:	Revisado: Aprobado:



Análisis multicriterio para selección de sitio - Proyecto "La Ceiba"



LEYENDA

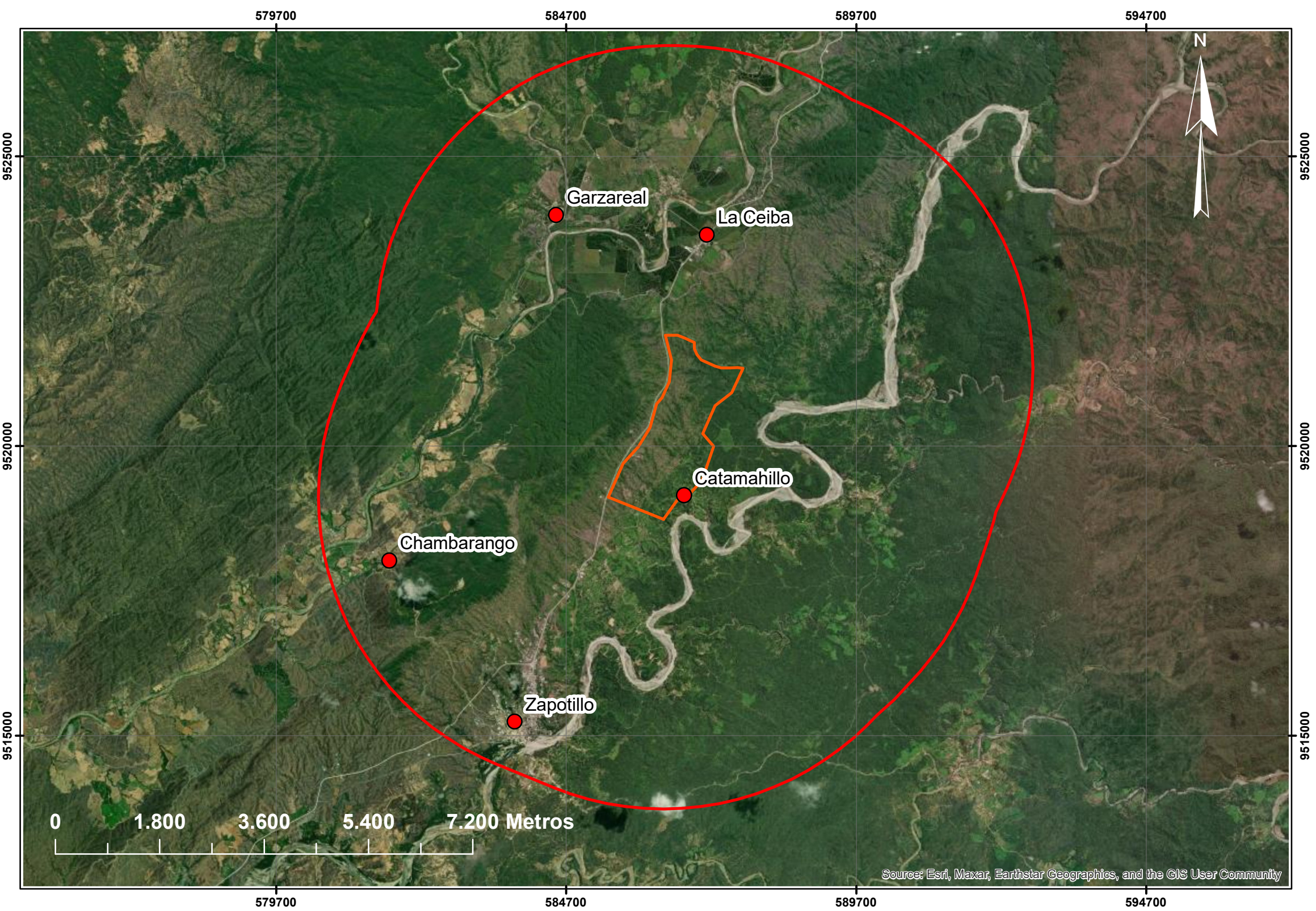
Río principal

 Río secundario

1. D	Nombre del Mapa: Hidrología - Emplazamiento La Ceiba		
Elaborador: Ing. Alexander Acaro C		Fuentes:	1:40.000
Equipo ERNC: Ing. Santiago Valarezo Ing. Daniela Reyes Ing. Alexander Acaro Ing. Juan Carlos Ramírez Ing. Marilin Chimarro Ing. Victor Rojas		Instituto Geográfico Militar (IGM)	Proyección UTM. Elipsoide WGS 84 Datum Horizontal: Sistema Geodésico Mundial WGS84. Datum Vertical: Nivel medio del mar local. Zona 17 Sur
		Elaborado:	Revisado: Aprobado:



Análisis multicriterio para selección de sitio - Proyecto "La Ceiba"



LEYENDA

POBLADOS_LA_CEIBA

Emplazamiento La Ceiba

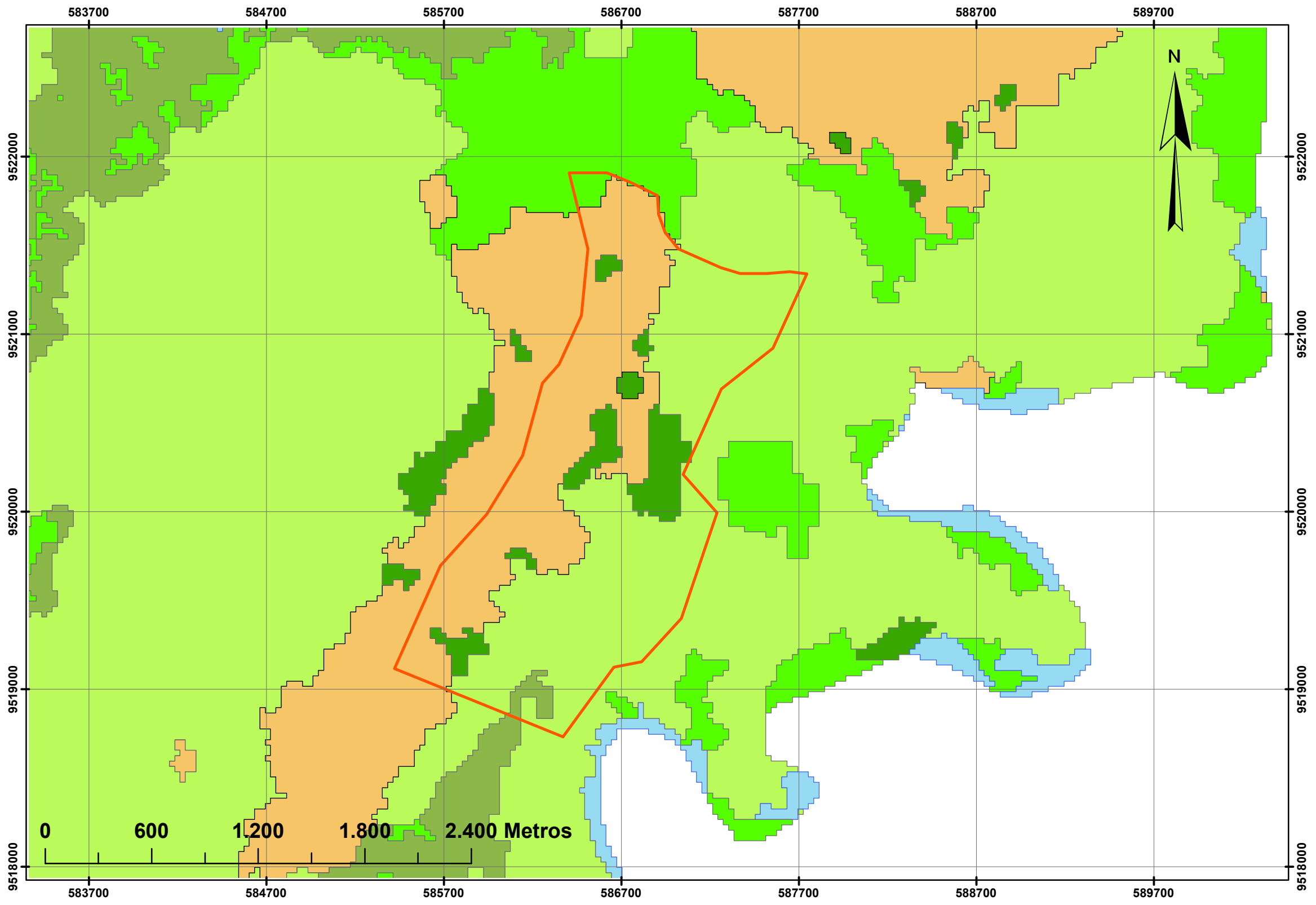
Buffer 5000m



Nro 6	Nombre del Mapa: Centros Poblados - Emplazamiento La Ceiba		
Elaborador: Ing. Alexander Acaro C		Fuentes:	1:74.000
Equipo ERNC: Ing. Santiago Valarezo Ing. Daniela Reyes Ing. Alexander Acaro Ing. Juan Carlos Ramírez Ing. Marilin Chimarro Ing. Victor Rojas		Instituto Geográfico Militar (IGM)	Proyección UTM. Elipsoide WGS 84 Datum Horizontal: Sistema Geodésico Mundial WGS84. Datum Vertical: Nivel medio del mar local. Zona 17 Sur
		Elaborado:	Revisado: Aprobado:



Análisis multicriterio para selección de sitio - Proyecto "La Ceiba"



LEYENDA

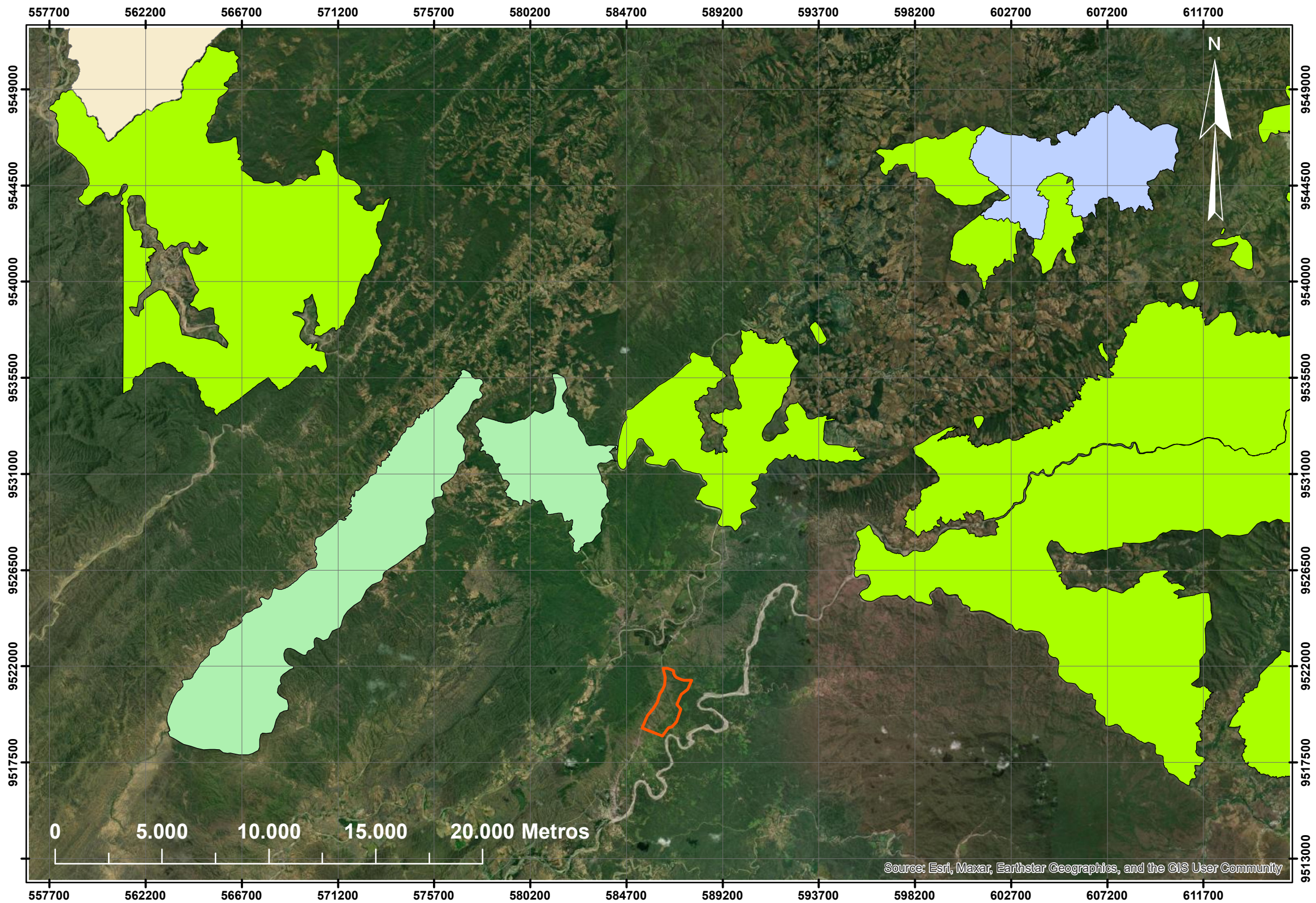
- Emplazamiento La Ceiba
- AREA SIN COBERTURA VEGETAL
- BOSQUE NATIVO
- CUERPO DE AGUA NATURAL
- MOSAICO AGROPECUARIO
- PASTIZAL
- VEGETACION ARBUSTIVA Y HERBACEA



Nro 5	Nombre del Mapa: Uso de Suelo - Emplazamiento La Ceiba		
Elaborador: Ing. Alexander Acaro C		Fuentes:	1:24.000
Equipo ERNC: Ing. Santiago Valarezo Ing. Daniela Reyes Ing. Alexander Acaro Ing. Juan Carlos Ramírez Ing. Marilin Chimarro Ing. Victor Rojas		Sistema Único de Información Ambiental (SUIA)	Proyección UTM. Elipsoide WGS 84 Datum Horizontal: Sistema Geodésico Mundial WGS84. Datum Vertical: Nivel medio del mar local. Zona 17 Sur
		Elaborado:	Revisado: Aprobado:



Análisis multicriterio para selección de sitio - Proyecto "La Ceiba"



LEYENDA

- BOSQUES PROTECTORES
- SNAP
- APH
- ACUS
- Emplazamiento La Ceiba



Nro 7	Nombre del Mapa: Áreas protegidas - Emplazamiento La Ceiba		
Elaborador: Ing. Alexander Acaro C		Fuentes: Sistema Único de Información Ambiental (SUIA) Naturaleza y Cultura Internacional (NCI)	
Equipo ERNC: Ing. Santiago Valarezo Ing. Daniela Reyes Ing. Alexander Acaro Ing. Juan Carlos Ramírez Ing. Marilin Chimarro Ing. Victor Rojas		1:200.000 Proyección UTM. Elipsoide WGS 84 Datum Horizontal: Sistema Geodésico Mundial WGS84. Datum Vertical: Nivel medio del mar local. Zona 17 Sur	
Elaborado:		Revisado:	Aprobado:

