

**PROPUESTAS DE ALTERNATIVAS LINEALES CON EL FIN DE IDENTIFICAR UNA  
RUTA ÓPTIMA PARA EL SUMINISTRO DE ENERGÍA DESDE EL MUNICIPIO DE  
MEDELLÍN HASTA EL MUNICIPIO DE MARMATO EN LOS DEPARTAMENTOS DE  
ANTIOQUIA Y CALDAS**

**MANUEL SANTIAGO SIERRA OCHOA**

**Y**

**CARLOS ANDRÉS FERNÁNDEZ CONTRERAS**

**UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO**

**FACULTAD EN INGENIERÍA AMBIENTAL**

**ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA**

**BOGOTÁ D.C – COLOMBIA**

**SEDE FEDERMÁN**

**2020**

**PROPUESTAS DE ALTERNATIVAS LINEALES CON EL FIN DE IDENTIFICAR UNA  
RUTA OPTIMA PARA EL SUMINISTRO DE ENERGÍA DESDE EL MUNICIPIO DE  
MEDELLÍN HASTA EL MUNICIPIO DE MARMATO EN LOS DEPARTAMENTOS DE  
ANTIOQUIA Y CALDAS**

**MANUEL SANTIAGO SIERRA OCHOA  
Y CARLOS ANDRÉS FERNÁNDEZ CONTRERAS**

**TRABAJO PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
ESPECIALISTA EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA**

**Mag. VANESSA RODRIGUEZ RUEDA**

**UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO  
FACULTAD EN INGENIERÍA AMBIENTAL  
ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA  
BOGOTÁ D.C – COLOMBIA  
SEDE FEDERMÁN**

**2020**

## **DEDICATORIA**

A mi padre quien vive en mi corazón y fue la persona que me enseñó a luchar por mis metas y a enfrentar los obstáculos de la vida con fortaleza y a no rendirme.

A mi madre, la persona que me inculcó buenos valores y principios, y que con sus esfuerzos y sacrificios hizo de mi un profesional y un buen ser humano.

A mi esposa, mis hermanos y mis sobrinos por brindarme siempre el calor de una familia.

**(Carlos Andrés Fernández Contreras)**

A mi mamá Soraida Ochoa la mujer que me inculco muchos valores y principios y hacer de mi un gran hombre.

A mi Papá Jose Manuel Sierra por ser la persona que por su esfuerzo y dedicación logro sacar adelante mi carrera profesional y por enseñarme la responsabilidad que se debe tener para todo.

A mi hermana Marlen Sierra Ochoa por ayudarme en momentos que más los necesitaba.

**(Manuel Santiago Sierra Ochoa)**

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por permitirme cumplir esta meta, por darme la salud y sabiduría para culminar esta especialización. A mis padres Brígida Inés Contreras Fernández y a mi padre Maximo Segundo Fernández Camacho quienes me formaron y me dieron las bases para salir adelante y complementar mis estudios de postgrado. Les agradezco por todos los sacrificios con los que me educaron y el amor que me dan. A mi esposa Karen Molano por estar conmigo y apoyarme en todo este proceso. A mi tutora por estar siempre dispuesta a guiarnos en este proceso y por su compromiso para que resultara un buen trabajo de grado, quiero también agradecerles a los docentes por lo que de ellos aprendí.

**(Carlos Andrés Fernández Contreras)**

Agradezco primero que todo a Dios y en especial a mis padres Soraida Ochoa Hernández y a José Manuel Sierra Roa por su apoyo en los momentos difíciles económicamente y por contar con su apoyo y esfuerzo por lograr terminar mi especialización en sistemas de información geográfica, A mi abuela Carmen Roa por su apoyo en los momentos difíciles de mi vida, Al ingeniero Ricardo Roa por guiarme en el proceso de la elaboración de la tesis en el modelo de sig para así finalizar mi tesis y a la tutora de nuestra tesis por el tiempo dedicado en guiarnos para culminar de manera eficiente la tesis. Para finalizar a mis compañeros de clase que en los momentos de dudas lograba resolverlas por medio de ellos y que gracias al compañerismo logre terminar mi especialización.

**(Manuel Santiago Sierra Ochoa)**

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	<b>11</b>
<b>3</b>	<b>JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>13</b>
<b>4</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>14</b>
4.1	OBJETIVO GENERAL.....	14
4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	14
<b>5</b>	<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>15</b>
5.1	DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DEL TERRITORIO .....	15
5.1.1	Diagnóstico .....	15
5.1.2	Diagnóstico ambiental de alternativas .....	15
5.2	CRITERIOS AMBIENTALES, SOCIALES Y TÉCNICOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA ZONIFICACIÓN AMBIENTAL .....	16
5.2.1	Criterios ambientales .....	16
5.2.2	Criterios técnicos .....	17
5.2.3	Zonificación ambiental .....	17
5.3	FACTIBILIDAD PARA EL MEJOR TRAZADO DE UNA LÍNEA ELÉCTRICA TENIENDO EN CUENTA EL TIPO DE RESTRICCIÓN AMBIENTAL.....	18
5.3.1	Ruta óptima.....	18
5.3.2	Línea eléctrica.....	19
5.3.3	Restricción ambiental .....	19
<b>6</b>	<b>ESTADO DEL CONOCIMIENTO</b> .....	<b>21</b>
6.1	EVOLUCIÓN DE LOS DIAGNÓSTICOS AMBIENTALES CON UNA MIRADA DESDE LA NORMATIVIDAD Y APLICACIONES PRÁCTICAS EN ESTUDIOS REALIZADOS .....	21
6.2	ZONIFICACIÓN AMBIENTAL PARA LA DETERMINACIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA LINEAL.....	25
6.3	SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS LINEALES PARA DEFINICIÓN DE LA MÁS ÓPTIMA AMBIENTALMENTE.....	28

<b>7</b>	<b>METODOLOGÍA.....</b>	<b>30</b>
7.1	ZONA DE ESTUDIO.....	30
7.2	FUENTES SECUNDARIAS DE INFORMACIÓN.....	32
7.3	TRATAMIENTO DE INFORMACIÓN RECOLECTADA PÁRA LA ELABORACIÓN DE LA ZONIFICACIÓN AMBIENTAL.....	34
7.4	CRITERIOS AMBIENTALES PARA DETERMINAR ALTERNATIVAS.....	35
<b>8</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>37</b>
8.1	DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DEL TERRITORIO.....	37
8.1.1	Evaluación de zonas de exclusión.....	37
8.1.2	Evaluación de restricciones muy altas.....	39
8.1.3	Evaluación de restricciones altas.....	41
8.2	ZONIFICACIÓN AMBIENTAL PARA EL ÁREA DE ESTUDIO.....	43
8.3	DEFINICIÓN DE LA RUTA ÓPTIMA PARA EL TRAZADO DE LA LÍNEA ELÉCTRICA.....	45
<b>9</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>53</b>
<b>10</b>	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>55</b>
<b>11</b>	<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>56</b>

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Variables de análisis para la zonificación ambiental.....	27
Tabla 2: Interacciones para la relación sensibilidad e importancia .....	27
Tabla 3: Coordenadas del área del proyecto .....	30
Tabla 4: Fuentes de información.....	32
Tabla 5: Herramientas implementadas para el modelo de análisis de ruta optima.....	35
Tabla 6 Áreas de exclusión para las alternativas del trazado de la línea eléctrica.....	37
Tabla 7 Áreas de restricción muy alta para las alternativas del trazado de la línea eléctrica .....	39
Tabla 8: Áreas de restricción alta para las alternativas del trazado de la línea eléctrica .....	41
Tabla 9: Definición de alternativas .....	45
Tabla 10: Cruce entre alternativas y áreas de exclusión y con restricción .....	51
Tabla 11: Matriz de resultado para el análisis de la mejor alternativa.....	52

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Definición de alternativas.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura 2: Ubicación de área del proyecto .....	31
Figura 3: Base de datos geográfica .....	33
Figura 4: Clasificación de nivel de restricción para las variables en el territorio.....	34
Figura 5: Distribución de áreas de exclusión en el área del proyecto.....	38
Figura 6: Distribución de áreas de restricción muy alta en el área del proyecto .....	40
Figura 7: Distribución de áreas de restricción alta en el área del proyecto .....	42
Figura 8: Zonificación ambiental para el área del proyecto .....	44
Figura 9: Modelo de identificación de las alternativas lineales .....	46
Figura 10: Alternativa 1 .....	47
Figura 11: Alternativa 2 .....	48
Figura 12: Alternativa 3 .....	49
Figura 13: Alternativas para el trazado de la línea eléctrica.....	50



## RESUMEN

En el presente trabajo de grado se realizó un estudio ambiental donde se propusieron alternativas lineales para transportar energía eléctrica desde el municipio de Medellín en Antioquia hasta el municipio de Marmato Caldas. Esto con el objeto propiciar desarrollo en el municipio de destino y que se pueda incrementar la oferta de energía eléctrica a los diferentes sectores tales como turismo, vivienda, sector agrícola, agroindustrial, comercial y garantizar el suministro de energía a las zonas definidas para la expansión urbana.

Los prestadores del servicio de energía en Antioquia alimentan de energía a un total de 123 municipios y está previsto que aumente su oferta con la puesta en funcionamiento de una nueva hidroeléctrica que sería categorizada como una de las más grandes e importantes del país y estaría administrada por el sector público de Medellín (EPM, 2020). Esto podría significar una oportunidad de desarrollo energético para Marmato que es un pequeño municipio con un área de 41 kilómetros cuadrados y en este la energía no cubre el 100% del territorio, Además, se está presentando un proceso de expansión urbana que demanda el abastecimiento de energía (Decreto N° 027, 2014). Por lo cual lograr llevar energía a este municipio por medio de dos subestaciones conectadas por una línea eléctrica aportará en el desarrollo del mismo.

En la realización de este trazado se consideraron los términos de referencia dados por la Autoridad de Licencias Ambientales (ANLA) para proyectos lineales donde se encuentra que es necesario llevar a cabo una caracterización incluyendo los componentes Bióticos, Abióticos y Físicos del área del proyecto propuesto con el fin de garantizar la menor afectación posible al medio ambiente en la ejecución del proyecto.

La realización del DDA donde está incluida la zonificación ambiental permitió identificar por medio de un proceso de análisis espacial ejecutado con el software ArcGis cuatro categorías de intervenciones ambientales y por medio de un modelo implementado con la herramienta de geoprocetos MODEL BUILDER se obtuvieron alternativas de trazados óptimos para la línea eléctrica, de las que se escogió la que mayor porcentaje mostró de intervención baja, definidas por áreas con restricciones ambientales.

**PALABRAS CLAVES:** Zonificación ambiental, Alternativa lineal, Trazado óptimo.

# 1 INTRODUCCION

Para la recuperación económica del país después de la pandemia la energía juega un papel importante por el desarrollo de proyectos hidroeléctricos de gran magnitud en Colombia (Dinero, 2020). El municipio de Marmato debido a que es un municipio que actualmente está en un proceso de expansión urbana y en proceso de desarrollo seguramente incrementara la demanda energética, pero solo cuenta con una subestación eléctrica que no abastece el 100% del municipio (Decreto N° 027, 2014).

El objeto de la presente investigación es determinar una ruta óptima para el trazado de una línea eléctrica y así contribuir a la respuesta de la demanda actual y futura de energía en el municipio, ya que al contar con más capacidad de suministro eléctrico los tomadores de decisiones podrán apostarle a cualificación y cuantificación de la infraestructura turística y el desarrollo del sector vivienda, agroindustrial y agrícola del municipio sin temor a limitarse por las falta de cobertura en energía que hoy en día existe en ese territorio.

La ubicación de la subestación eléctrica destino estará en la parte rural del municipio de Marmato y la subestación origen se encuentra ubicada en el municipio Medellín. En cuanto a, determinar el trazado más óptimo se incluyen los términos de referencia del ANLA relacionados con proyectos lineales (DA-TER-3-01). En donde resaltan los medios Bióticos, Abióticos y Socioeconómicos de mayor importancia que sirven para la selección de la mejor alternativa ambientalmente.

La selección de la ruta óptima se hizo con base a una revisión de información secundaria sobre los POMCAS, POT y EOT que involucran a los municipios de Marmato y Medellín y con base a esa información se delimitó el área del proyecto. Con un análisis espacial elaborado con el software ArcGis incluyendo las variables ambientales (Bióticos y Abióticos) considerando los términos de referencia para la elaboración de diagnósticos ambientales de alternativas de proyectos lineales DA-TER-3-01 del ANLA, se generaron cuatro categorías de zonas (zonas de exclusión, zonas con restricción muy alta, zonas con restricción alta y zonas con restricción baja). Los geoprocursos denominados IDENTIFICACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS LINEALES llevados a cabo con MODEL BUILDER de ArcGis permitió realizar el análisis de trazados par que finalmente por medio de una matriz multicriterio se definiera la ruta más óptima ambientalmente.

## 2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La ubicación del área definida para realizar la propuesta de una alternativa lineal para trazar una línea eléctrica que estará comunicada por dos subestaciones, está comprendida por una zona que incluye parte del sur del departamento de Antioquia y el área urbana y rural del municipio de Medellín abarcando hasta el nordeste del departamento de Caldas y la totalidad del Municipio de Marmato.

A futuro Marmato presentará una expansión urbana debido a su crecimiento económico, a causa del sector agroindustrial, comercial y turístico. Esto generará un desarrollo que conllevó a que el Esquema de Ordenamiento Territorial del municipio considere como suelo de expansión urbana un área total de 10,38 hectáreas. Sobre las zonas de futuro desarrollo urbano y de expansión del municipio se coordinará una extensión de servicios públicos que se prestan tales como son: abastecimiento de agua, gas, servicios de salud, electricidad entre otros. La estrategia que plantea el municipio respecto al servicio público de energía es con la empresa Central Hidroeléctrica de Caldas (CHEC), que buscará la optimización del alumbrado público y la coordinación de estrategias para la extensión del servicio en su territorio (Alcaldía de Marmato, 2014).

Actualmente la central hidroeléctrica que lleva energía al municipio no tiene un cubrimiento total del 100 %, solo cubre el 90 % según el DANE, además, existen zonas alejadas que padecen de cortes continuos por la ausencia de transformadores lo que reduce la calidad de un buen servicio público (CMGRD, 2015). Teniendo en cuenta que se presentará una expansión urbana y que la prestadora del servicio no satisface la demanda (Decreto N° 027, 2014). Una solución en cuanto a el problema de energía es tener la alternativa de una nueva subestación eléctrica que sea alimentada por una línea de transmisión eléctrica que inicie desde Medellín y termine en Marmato, y que al mismo tiempo logre garantizar la demanda de la energía en donde no se preste un buen servicio.

En la región antioqueña desde el año 2022 entrará en operación a toda marcha la hidroeléctrica más importante en la historia de Colombia que cubrirá el 17% de la energía distribuida en el país (Portafolio, 2020). Sin embargo, no existe la infraestructura, ni estudios de factibilidad que permitan visualizar que el municipio de Marmato va a mejorar su cobertura de energía y la calidad del servicio en un futuro aprovechando la nueva oferta para el país y la región. Podemos decir que

la expansión urbana y el desarrollo del municipio obligará en un futuro a los tomadores de decisiones a buscar alternativas para mejorar la cobertura y calidad en el servicio.

Es preciso proponer alternativas lineales para el trazado de una línea eléctrica y definir cuál es el trazado más óptimo ambientalmente para subsanar la problemática que ya se está observando y que aumentará en un futuro por los factores anteriormente expuestos.

Este trabajo se enfoca en identificar una ruta óptima caracterizando el componente Biótico, Abiótico, y Social para la selección de una línea eléctrica que se conectará por medio de dos subestaciones.

Se realizó un estudio del territorio con el fin de establecer un diagnóstico ambiental limitado por el área del proyecto, definiendo los criterios ambientales y técnicos para determinar la zonificación ambiental entre el municipio de Medellín y el municipio de Marmato en los departamentos de Antioquia y Caldas, y finalmente se evaluó la factibilidad de las rutas óptimas de acuerdo a los niveles de restricciones ambientales categorizados en la zonificación ambiental y se definió, por medio de una matriz en donde se evaluaron los resultados, la más adecuada ambientalmente para el trazado de la línea eléctrica.

### 3 JUSTIFICACIÓN

El presente estudio se centra en realizar un diagnóstico ambiental de alternativas de corredores lineales de transmisión de energía desde Medellín hasta Marmato. El municipio de Marmato ha definido un área para la expansión urbana, la cual necesitará la provisión de servicios públicos. La agroindustria y el turismo son sectores que están en pleno desarrollo en el municipio y según el EOT son los sectores a los que le apuestan para generar desarrollo (CMGRD, 2015).

Suministrar un servicio de energía con mejor cobertura y calidad será fundamental en el crecimiento urbano del municipio y traerá beneficio a los municipios vecinos ya que la subestación instalada en Marmato podría funcionar como un distribuidor de energía en la región.

Cuando hay sectores que generan recursos para una administración, como en el caso de Marmato con el desarrollo de vivienda, turismo y agroindustrias, esto se puede ver reflejado en inversión social y en la mejora de la calidad de vida de la población

La definición de un trazado óptimo de una línea eléctrica permitirá a los tomadores de decisiones dimensionarse como solucionar la problemática de cobertura de energía y calidad en el servicio que actualmente se presenta en el municipio y este estudio también permitirá hacer una aproximación en la viabilidad ambiental que pueda tener un proyecto de tal magnitud en la región.

Se presentaron tres alternativas de conectividad y se determinó la mejor alternativa teniendo en cuenta el factor ambiental en el área del proyecto determinada por medio de la zonificación ambiental elaborada. La alternativa más óptima surgió como la que menor impacto por su construcción significa en el ambiente.

Otro beneficio que traerá a Marmato la construcción de esa línea eléctrica se verá reflejado en el crecimiento urbano del municipio, dado que aportará energía eléctrica para el área en donde se construirán las viviendas, la mayor cobertura de energía podría significar un desarrollo en el comercio y turismo, lo cual significa un auge para la economía de Marmato.

## **4 OBJETIVOS**

### **4.1 OBJETIVO GENERAL**

Determinar la ruta óptima para el suministro de energía que se conectará por medio de dos subestaciones ubicadas estratégicamente en el municipio de Medellín y Marmato en los departamentos de Antioquia y Caldas con el fin de incentivar desarrollo económico y social en Marmato.

### **4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Estudiar el territorio con el fin de establecer un diagnóstico ambiental en el territorio limitado por el área del proyecto que abarca los municipios de Medellín y Marmato para conocer las características Bióticas, Abióticas y Antrópicas.
- Definir los criterios ambientales y técnicos, para determinar la zonificación ambiental entre el municipio de Medellín y el municipio de Marmato en los departamentos de Antioquia y Caldas.
- Evaluar la factibilidad de las rutas óptimas de acuerdo a los niveles de restricciones ambientales categorizados en la zonificación ambiental y así definir las más adecuada ambientalmente para el trazado de una línea eléctrica.

## **5 MARCO TEÓRICO**

### **5.1 DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DEL TERRITORIO**

#### **5.1.1 Diagnostico**

El diagnostico permite entender la situación de una cosa, objeto, espacio o persona en un momento de tiempo específico, en este caso es un territorio. Al diagnóstico se llega a partir del análisis de diferentes variables Bióticas, Abióticas y Sociales que interactúan entre sí y que cuya interacción permite identificar procesos facilitadores y los que presentan barreras para el desarrollo de un proyecto.

“El diagnóstico es un primer paso que es esencial en el desarrollo de un proyecto, se debe presentar un documento donde se permita entender el contexto a nivel social, económico, ambiental y cultural; y que permita identificar los principales problemas con sus posibles causas” (Ulloa, 2015, p.4).

En el diagnóstico se pueden tener en cuenta cualquier tipo de información, en este trabajo se considerará la información secundaria y los datos cuantitativos, lo cual nos permitió identificar oportunidades o procesos facilitadores y barreras para definir la ruta óptima en el trazado de una línea eléctrica, en este caso desde el municipio de Medellín al municipio de Marmato en los departamentos de Antioquia y Caldas.

#### **5.1.2 Diagnóstico ambiental de alternativas**

Un DAA permite caracterizar y describir el área de estudio identificando opciones de alternativas en relación con el trazado de la línea eléctrica. Permite reconocer la compatibilidad o no del área de estudio con el desarrollo del proyecto y poder seleccionar la ruta óptima para ejecutarlo por medio del análisis de las diferentes variables Bióticas y Abiótica utilizadas. La Autoridad Ambiental de Licencias Ambientales (2020) lo define así:

El Diagnóstico Ambiental de Alternativas tiene como objeto suministrar la información para evaluar y comparar las diferentes opciones que presente el peticionario, bajo las cuales sea posible desarrollar un proyecto, obra o actividad. Las diferentes opciones

deberán tener en cuenta el entorno geográfico y sus características ambientales y sociales, análisis comparativo de los efectos y riesgos inherentes a la obra o actividad, y de las posibles soluciones y medidas de control y mitigación para cada una de las alternativas (p.1).

El diagnóstico ambiental de alternativas según su objetivo es identificar y describir cada una de las variables que se tienen en cuenta en la generación de la zonificación ambiental, esto con el fin de determinar la ruta óptima para el trazado de la línea eléctrica en el área de estudio definida en proyecto.

## **5.2 CRITERIOS AMBIENTALES, SOCIALES Y TÉCNICOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA ZONIFICACIÓN AMBIENTAL**

### **5.2.1 Criterios ambientales**

El criterio ambiental hace referencia a lo que se encuentra en el territorio delimitado por el área de proyecto definida para esta investigación, enmarcada por fuentes de agua, fenómenos de riesgos, cobertura vegetal, tipo de suelo, geología del terreno, entre otras variables. Lo anterior se hace con el fin de dar un peso ambiental a lo encontrado en el diagnóstico ambiental de alternativas.

Montalvo (2017) afirma que el criterio ambiental será el que considere el sistema complejo y dinámico de las relaciones e interacciones que se establecen entre las percepciones sociales y la naturaleza. Es en donde se pueden evidenciar las afectaciones, directas o indirectas en un lapso de tiempo determinado sobre los seres vivos y las actividades humanas. El criterio debe abarcar los componentes del proyecto en los que la calidad ambiental se vea implicada, considerando los posibles impactos ambientales sobre las diferentes matrices (agua, suelo, aire y biodiversidad (p. 39).

Criterio ambiental es el análisis que se hace del territorio teniendo en cuenta aspectos ambientales (Bióticos y Abióticos). Con la finalidad de determinar el impacto que genera el proyecto que se ejecutará, ya sea negativo o positivo, y así determinar la compatibilidad o no del trazado de la línea eléctrica por el área de estudio.



## **5.2.2 Criterios técnicos**

El criterio técnico hace referencia a los aspectos que tendremos en cuenta y las clases de herramientas que se utilizaran para lograr un determinado objetivo que en el caso de la investigación es determinar la mejor alternativa de una línea eléctrica por medio de una serie de procesos y evaluando técnicamente la mejor alternativa.

“Todo estudio técnico tiene como principal objetivo demostrar la viabilidad del proyecto que justifique la alternativa técnica que mejor se adapte” (Universidad Nacional Autónoma de México, 2017, p.1).

En conclusión, el criterio técnico es una de las etapas más importante en la elaboración de un proyecto porque ayuda a determinar si es viable o no ejecutarlo, esto se logra teniendo en cuenta una serie de factores ambientales y técnicos que soporten la viabilidad del proyecto.

## **5.2.3 Zonificación ambiental**

La zonificación ambiental se utiliza en cualquier tipo de proyectos, ya sea de hidrocarburos, minero, energético etc. El fin de ejecutar una zonificación es determinar ambientalmente una serie de restricciones para no tener una afectación al ambiente de una forma directa y así garantizar la ejecución del proyecto no comprometa los recursos naturales.

La zonificación tiene como objetivo obtener un diagnóstico ambiental de las condiciones del territorio en sus medios Físicos, Bióticos y Socioeconómicos en donde se ejecutará el proyecto. A partir de la caracterización y descripción del área representada cartográficamente. La Autoridad Nacional de Licencia Ambientales (2018) la define como: “proceso de sectorización de un área compleja en áreas relativamente homogéneas de acuerdo a las características y a la sensibilidad ambiental de los componentes de los medios Abiótico, Biótico y Socioeconómico” (p.26).

En conclusión, la zonificación ambiental nos permite tener un análisis con restricciones ambientales en cuanto a los componentes Bióticos, Abióticos y Socioeconómicos, y lograr calcular la medida de los impactos negativos en la ejecución del proyecto y determinar la mejor alternativa ambientalmente.

Para el ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2018) “es una herramienta técnica de planificación ambiental que permite ordenar el territorio atendiendo una problemática particular y orientar las decisiones de la autoridad territorial sobre los usos del suelo” (p.16).

### **5.3 FACTIBILIDAD PARA EL MEJOR TRAZADO DE UNA LÍNEA ELÉCTRICA TENIENDO EN CUENTA EL TIPO DE RESTRICCIÓN AMBIENTAL**

#### **5.3.1 Ruta optima**

La ruta óptima consiste en determinar el recorrido más ideal de un punto inicial a uno final teniendo en cuenta factores de la distancia más corta, economía en el trayecto, menor intervención a áreas con restricciones ambientales, la ruta óptima permite generar beneficios en tiempos, distancias o menores afectaciones al ambiente.

Una ruta óptima consiste en minimizar los costos de operación del recorrido o ruta, para esto es necesario hacer la determinación de las distancias dentro de la red, es un sistema interconectado de nodos (puntos de origen y destino) y arcos (se identifican con las rutas), donde pueden pasar un flujo de personas, mercancía, energía e información entre otros, estas redes tienen diferentes escalas que pueden ser local, regional y mundial (Guarin Gonzalez, 2015, p.2)

Una ruta óptima tiene como finalidad generar menor tiempo de un recorrido, minimizar costos económicos y ambientales para el caso del diagnóstico ambiental de alternativas del trazado la línea eléctrica que definió en esta investigación. La ruta óptima la definiremos en el recorrido que tenga menor intervención en la zonificación ambiental. Esri (2020) afirma que “Resolver un análisis de ruta puede significar encontrar la ruta más rápida, más corta o incluso más pintoresca, dependiendo de la impedancia elegida. Si la impedancia es el tiempo, entonces la mejor ruta es la más rápida”.

### 5.3.2 Línea eléctrica

La línea eléctrica es la que alimenta cualquier tipo de infraestructura con energía. Su función sirve para el transporte y distribución de la energía por grandes distancias y varían según los voltios que transporta y según la demanda de energía, generalmente está conectada a una subestación central que es la que genera la energía.

Una línea de transmisión eléctrica es básicamente el medio físico mediante el cual se realiza la transmisión y distribución de la energía eléctrica, está constituida por: conductores, estructuras de soporte, aisladores, accesorios de ajustes entre aisladores y estructuras de soporte, y cables de guarda (usados en líneas de alta tensión, con la función de protegerlas de descargas atmosféricas) (Carolyn y Pérez, 2015, p1.)

De acuerdo a ello, la línea eléctrica es la encargada de distribuir la energía a través de un medio físico y llevarla de un punto de generación a un punto de consumo ya sea residencial o industrial, lo cual trae beneficios en cuanto a desarrollo económico y social

El Grupo de Energía Bogotá da otra definición de línea eléctrica: “es un sistema de conductores y sus accesorios para el transporte de energía eléctrica desde una planta de generación o una subestación de energía eléctrica a otra”(Grupo Energía Bogotá, 2017).

Es interesante ver cómo se van definiendo las características y los componentes de línea eléctrica. Definir las características y condiciones para su trazado es importante en cuanto a la determinación de las condiciones en el territorio.

### 5.3.3 Restricción ambiental

La restricción ambiental es la limitación que se impone en cualquier proyecto, en este estudio está limitada por el área de proyecto, haciendo una caracterización según los criterios ambientales para determinar la fragilidad, evitando tocar zonas de importancia ambiental como bosques y cuerpos de agua. A continuación, se definen las restricciones que se aplicaran en el estudio.

**Área de exclusión:** “La categoría de áreas de exclusión está relacionada con la sensibilidad y funcionalidad Socio-Ambiental que se puede encontrar en la zona, de la

capacidad de recuperación de los medios a ser afectados y del carácter de las áreas de régimen de protección” ( Concesión Tunel Aburra Oriente, 2013).

Las áreas de exclusión corresponden a ciertas áreas que por ningún motivo pueden ser modificadas de ninguna manera por las actividades del proyecto en ejecución debido a que son susceptibles a generar altos costos ambientales o están protegidas por normatividades internacionales nacionales o locales.

**Área de intervención con restricciones:** las áreas de intervención con restricciones son áreas donde se deben tener en cuenta manejos especiales y restricciones propias de las actividades que se realiza en esta zona. A su vez, se deben considerar los sitios de intervención Puntual por las obras del proyecto y la sensibilidad socio-ambiental de la zona. Para el proceso de determinación de restricciones se categoriza en Restricciones Muy altas, Altas y bajas (Concesión Tunel Aburra Oriente, 2013).

Las restricciones ambientales están ligadas a cualquier proyecto de licenciamiento ambiental, debido a que se procura cuidar los recursos naturales definiendo una categorización de niveles ambientales que nos dejan conocer las áreas o zonas que no pueden ser intervenidas por el proyecto debido a que al hacerlo pueden generar sanciones económicas y de otra índole.

## **6 ESTADO DEL CONOCIMIENTO**

### **6.1 EVOLUCIÓN DE LOS DIAGNÓSTICOS AMBIENTALES CON UNA MIRADA DESDE LA NORMATIVIDAD Y APLICACIONES PRÁCTICAS EN ESTUDIOS REALIZADOS**

Uno de los instrumentos de la evaluación de impacto ambiental es el diagnóstico ambiental por lo cual se hace un recuento histórico de los ítems más importantes en cuanto a la normatividad a nivel global relacionada con la implementación y formalización aspectos relacionados con el diagnóstico ambiental.

A mediados del siglo XX un suceso importante en la conservación de los recursos naturales y con ello las iniciativas normativas en lo que tiene que ver con promover la menor afectación negativa por intervenciones antrópicas tuvo lugar en 1949 cuando las Naciones Unidas hicieron una conferencia sobre esa temática para discutir la reconstrucción de las áreas devastadas por la Segunda Guerra Mundial (Rodríguez y Espinoza, 2002).

La conferencia citada en el párrafo anterior fue un impulsor para que 21 años después se desarrollara una normativa cuyo objetivo principal, por primera vez en la historia de Estados Unidos, fuera enfocado en la protección del medio ambiente ante las acciones del hombre.

Para el año 1970 en Estados Unidos se aprueba la ley de política ambiental nacional (NEPA), Política básica de NEPA se trata sobre asegurar que todas las ramas del gobierno presten la debida consideración al medio ambiente antes de emprender cualquier acción federal importante que afecte significativamente el medio ambiente (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, 2020).

A partir de este soporte jurídico se asegura que todos los proyectos estatales que supongan una modificación al medio ambiente natural o sugieran un impacto ambiental ya sea positivo o negativo realicen un diagnósticos o evaluaciones ambientales antes de la ejecución del proyecto.

En 1972 se celebró la conferencia de Estocolmo en Suecia de la cual Colombia fue participe y en su principio 4 recita que el hombre tiene la responsabilidad especial de preservar y administrar juiciosamente el patrimonio de la flora y fauna silvestres y su habitat, que se encuentran actualmente en grave peligro por una combinación de factores adversos (Naciones Unidas, 1973).

En esta conferencia asistieron países de todo el mundo y por primera vez se discutió sobre el medio ambiente a escala global y la indispensabilidad del mismo en la subsistencia de la humanidad. Este hecho fue el principio para que los participantes incrementaran la disposición política en cuidados y protección del medio.

En 1992 se lleva a cabo la Cumbre de la Tierra en la ciudad de Rio de Janeiro en donde se ratifican los compromisos adquiridos en la conferencia de Estocolmo y que en uno de sus principios deja claro “deberá emprenderse una evaluación de impacto ambiental, en calidad de instrumento ambiental respecto de cualquier actividad propuesta que probablemente haya de producir un impacto negativo considerable en el medio ambiente” (Naciones Unidas, 1973).

Los dos hitos históricos más importantes que influyeron en Colombia y en la región en materia de incentivar las normatividades ambientales y la creación de entidades rectoras para la materia fueron la cumbre de Estocolmo 1972 y cumbre de Rio de Janeiro en 1992. En Colombia al año siguiente se creó la entidad rectora en cuanto a temas ambientales.

En 1993 se Crea el Ministerio del Medio Ambiente y Organiza el Sistema Nacional Ambiental (SINA). Reforma el sector público encargado de la gestión ambiental; Organiza el Sistema Nacional Ambiental y exige la planificación de la gestión ambiental de proyectos (Unidad de Planeación Minero Energética, 2017). Esta ley en el artículo 56 trata sobre los proyectos que necesiten licencias ambientales, la parte interesada, en la factibilidad de un proyecto “deberá solicitar en la etapa de factibilidad a la autoridad ambiental competente que esta se pronuncie sobre la necesidad de presentar o no un Diagnóstico Ambiental de Alternativas” (Ley N° 99, 1993).

A partir de esta ley se empiezan a dar la importancia a los recursos naturales y a pensar en el aprovechamiento sostenible y responsable. Se reglamentan las medidas con relación a la prevención de desastres y se instrumentalizan los estudios de impactos ambientales para la toma de decisiones.

El decreto 1753 de 1994 normativa que el diagnóstico ambiental de alternativas se podrá exigir para” construcción de centrales generadoras de energía eléctrica (...). Y el tendido de líneas de transmisión o conducción en el área de jurisdicción de la respectiva Corporación Autónoma” (Decreto N° 1753, 1994).

Específicamente el decreto 1753 de 1994 soporta la implementación del diagnóstico ambiental para tipos de proyectos como el de trazados de líneas transportadoras de energía eléctrica y la ubicación de subestaciones eléctricas. A continuación, se muestran ejemplos de proyectos en los cuales se llegó a un diagnóstico ambiental.

Los países están en un proceso de transformación de los residuos sólidos urbanos. Esto es en consecuencia de los requisitos ambientales que se materializaron en la legislación 31/99 del consejo europeo que trata sobre la liberación de residuos sólidos en la unión europea. A continuación, se describe la finalidad del estudio que se tomó como referencia para este trabajo en cuanto al diagnóstico ambiental.

“Is necessary to undertake a diagnosis and characterisation of the impacted areas in order to develop an adequate action plan. This study presents a new methodology by which environmental diagnosis of landfill sites may be carried out” (Calvo, Moreno, Zmorano y Szanto, 2005).

La metodología empleada implicó la formulación de unos índices ambientales que brindaron información de importancia sobre los rellenos y su impacto sobre el ambiente. A partir de esta metodología se logró elaborar un plan de acción para la remediación del relleno o el cierre total de este.

Otro proyecto que se tomó como referencia para este estudio tiene como finalidad realizar el análisis de un trazado de la ruta seleccionada por el ANLA. La empresa energía Bogotá S.A adquirió el compromiso de ejecutar el estudio de impacto ambiental en relación con los términos de referencia para proyectos lineales (LI-TER-01-01). El área de estudio comprende veinte

municipios de los departamentos de Boyacá y Cundinamarca (Consortio Ambiental Chivor, 2016). En este proyecto se describe la metodología relacionada con los criterios de zonificación y evaluación de las consecuencias de construcción de torres eléctricas, infraestructura y operaciones del proyecto.

El objetivo está relacionado con definir los criterios a tener en cuenta en el desarrollo del estudio de impacto ambiental y en cuanto a la metodología se hizo una recolecta de información primaria en campo de los diferentes componentes temáticos en cuanto a caracterizar la zona, llevando a cabo recorridos en campo tomando fotos, muestras y describiendo las principales características. Se realizó un análisis de imágenes satelitales del área de estudio y una interpretación preliminar para determinar geoformas, grupo de rocas, unidades de suelos, procesos morfodinámicos entre otros (Consortio Ambiental Chivor, 2016).

En cuanto a la recolección de información secundaria se tuvieron en cuenta el EOT del municipio, el SIGOT, SIAC, PNN, AICAS, RSC e investigaciones adelantadas en el área de estudio. Se hizo el uso de planchas del IGAC a escala 1:25000 de cartografía base, para cartografía temática planchas geológicas a escala 1:10000 y estudios de suelos a escala 1:25000 (Consortio Ambiental Chivor, 2016).

Como resultado se obtuvo que la recolección de información primaria se obtuvo con trabajo de campo y la secundaria se recolectó por medio de fuentes oficiales, todo lo propuesto en campo se logró conseguir, en algunos casos se construyó la información, para estructurar las capas que conformaron la zonificación ambiental que aparece en el numeral 6.2.



## **6.2 ZONIFICACIÓN AMBIENTAL PARA LA DETERMINACIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA LINEAL**

La zonificación ambiental es un proceso fundamental en el estudio de impacto ambiental de un proyecto, a continuación, se construye un recuento sobre la normatividad a nivel internacional, regional y local que nos permite entender cómo ha sido la implantación de la zonificación ambiental en los proyectos que puedan significar un impacto al medio ambiente.

En 1972 con la creación del programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente los países de la Unión Europea empiezan a explorar una legislatura común en temas de medio ambiente, y posterior a la conferencia de Estocolmo se llevó a cabo el primer Programa Comunitario de Medio Ambiente cuyo objetivo es disminuir los efectos de la contaminación. En adelante se desarrollaron una serie de programas que van en una séptima generación destinados a la protección del medio ambiente, los recursos naturales y el desarrollo sostenible (Henares, 2014).

Este fue el inicio para que varios países miembros de la comunidad europea comenzaran a implementar normatividades encaminadas a la protección del medio ambiente, la implementación de los primeros estudios de impacto ambiental y con ello la ejecución de las primeras zonificaciones ambientales en sus territorios (Rodríguez Becerra, 2002). Por ejemplo, Francia con la ley de protección de la naturaleza 76/629 en la cual reglamentan la implementación de los estudios de impacto ambiental (Rodríguez Díaz, 2012)., y Grecia con la ley de protección del ambiente 1650/86 implementa por primera vez los estudios de impacto ambiental (Cossari y Luna, 2005).

En latino américa varios países empiezan a implementar una legislación ambiental y a crear entidades locales rectoras en cuanto a autoridad ambiental teniendo como referentes las conferencias de Estocolmo en 1972 y la Cumbre de la Tierra en 1992 (Rodríguez Becerra, 2002). En Colombia se crea el ministerio de Medio Ambiente en el año 1993 y reemplaza al instituto nacional de recursos naturales por medio de la ley 99 de 1993. La importancia en cuanto a la zonificación ambiental radica en que por medio de esta ley se normativa a los estudios de impacto

ambiental, lo cuales incluyen zonificaciones ambientales. A continuación, se exponen algunos ejemplos de proyectos en los cuales se llegó a una zonificación ambiental.

La finalidad del estudio fue obtener la fragilidad ambiental en Ibuana en la región sureste de Brazil, donde se implementaron modelos de fragilidad ambiental que ayudaron a evaluar la sensibilidad ambiental y lograr determinar la interacción entre el hombre ambiente.

The objective of this study was to evaluate three different environmental fragility models within the Brazilian rainforest region and to use the results to develop environmental zone classes. (Manfre, Silva, Urban y Rodgers, 2013).

Identificar que un modelo o metodología implementar que permita tomar decisiones que generen el menor impacto ambiental negativo al ejecutar un proyecto, es una de las cosas más importantes a considerar en la fase de planeación. Seguidamente, se describen las variables utilizadas y los resultados obtenidos del estudio citado y que sirve como referencia para el presente estudio en la búsqueda de identificar o definir la metodología a desarrollar.

Las variables utilizadas para lograr determinar la fragilidad fueron el relieve, la clase del suelo, la litología la cobertura de la tierra y datos climáticos. El modelo implementado permitió la capacidad de predecir áreas más sensibles y menos sensibles. Se utilizaron los mejores modelos para determinar mapas de zonificación ambiental, estos mapas ayudaran a gestionar que zonas se utilizaran para realizar restauración ambiental y las mejores regiones para implementar agricultura (Manfre et al., 2013).

Queda en evidencia que utilizar modelos predictivos o que permitan evaluar las variables más importantes involucradas en un proyecto es fundamental para la toma de decisiones y que una decisión acertada depende de la definición de las variables a evaluar y el nivel de importancia que se le da a cada una.

Otro proyecto que involucra zonificación ambiental tiene que ver con la elaboración de un Estudio de Impacto Ambiental, el cual consistió en la recolección de información primaria y secundaria según los términos de referencia, luego se procede a realizar las definiciones de restricciones ambientales según cada componente recolectado y con esa información el cartógrafo hace un cruce

de capas con el propósito de generar la zonificación según el criterio de los profesionales (Consortio Ambiental Chivor, 2016).

Definir las restricciones ambientales en un proyecto permite saber la importancia que tiene cada componente y cada variable, esto es de gran importancia para conocer las opciones de viabilidad y posibles zonas de intervención sin generar un mayor impacto ambiental negativo.

El objetivo es evaluar la oferta y vulnerabilidad ambiental de los ecosistemas que serán afectados por el proyecto. Con relación a la metodología, consistió en tomar como insumo la información obtenida en la caracterización de los componentes Biótico y Abiótico, lo cual sirvió como variable para determinar la sensibilidad ambiental de cada uno, esto con el propósito de determinar cuáles son susceptibles de ser modificadas por causas externas al proyecto o con la posibilidad de perder el poder de proveer servicios ambientales (Consortio Ambiental Chivor, 2016). Las variables Bióticas, Abióticas y Socioeconómicas tenidas en cuenta se observa en la tabla 1.

*Tabla 1:* factores de análisis para la zonificación ambiental

<b>MEDIO</b>	<b>VARIABLE</b>
<b>Abiótico</b>	Estabilidad Geotécnica
	Susceptibilidad a deslizamientos
	Grado de pendiente del terreno
	Conflicto de uso del suelo
<b>Biótico</b>	Cobertura de la Tierra
	Áreas de importancia ambiental
<b>Socioeconómico</b>	Densidad Poblacional
	Servicios Sociales e infraestructura
	Actividades Económicas

Fuente: Consortio Ambiental Chivor, 2016

Se ejecuta una matriz de decisión con el cruce de los niveles de sensibilidad y cada medio evaluado en lo que dio un resultado de 25 interacciones que se agruparon en 5 niveles, como se muestra en la 2.

*Tabla 2:* Interacciones para la relación sensibilidad e importancia

		<b>SENSIBILIDAD</b>				
		1	2	3	4	5
		Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy alta
<b>Importancia</b>	<sup>1</sup> Muy baja					



Fuente: Consorcio Ambiental Chivor, 2016

Con el modelo se realiza el cruce de capas dando como resultado unas variables que ayudaron a definir la zonificación, con respecto a, el área de influencia; las que serán determinantes en la definición de las diferentes categorías de uso y restricciones que será utilizadas en la verificación de la factibilidad de intervención de las diferentes obras y actividades del proyecto en base al grado de su vulnerabilidad.

### **6.3 SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS LINEALES PARA DEFINICIÓN DE LA MÁS OPTIMA AMBIENTALMENTE**

El análisis de rutas óptimas es ideal para soportar la toma de decisiones en un proyecto de alternativas lineales. En este caso, el tipo de análisis, podría ayudar a soportar técnicamente la escogencia del trazado de una línea eléctrica que represente el menor costo ambiental. A continuación, se exponen otros campos en donde se han aplicado estos análisis.

“Routing analysis has been one of the most popular research topics in geospatial-related fields. A variety of computing techniques have been developed using different datasets, and the performances of routing analysis techniques for determining optimized routes for infrastructure facilities” (Bang, Heo, Han y Sohn, 2010).

El análisis de rutas óptimas puede aplicarse para definir el mejor trazado de un oleoducto, una línea de gas, vías, líneas eléctricas, entre otras opciones de aplicaciones. Se pueden incluir atributos que incidan en el resultado tales como: tiempo, distancia, características y atributos de una zona. Seguidamente se expone un estudio en el contexto de África del Norte en donde aplican el análisis de rutas óptimas.

The main purpose of this paper is to provide an enhanced network analysis that uses the capabilities of Geographic Information System (GIS) to identify the best route from the

location of an incident for any healthcare service providers in the Greater Cairo metropolitan area (Ahmed, Ibrahim y Hefny, 2018).

Los resultados del estudio arrojan la mejor opción para trasladarse a atender una situación de emergencia por parte de los organismos de socorro. La alternativa que resultó por medio del procesamiento SIG es diferente a la ruta más corta porque consideró otras variables como: historial del tráfico, datos de la red de carreteras y topología del terreno.

Este proyecto consistió en elaborar un trazado lineal de una subestación de Medellín a la Virginia donde se acoplan a los términos de referencia en cuanto a proyectos lineales con criterios de los profesionales se elaboró una matriz de restricciones ambientales, en donde el SIG procede hacer el análisis espacial por medio de un modelo con el fin de determinar las rutas que entraran a evaluar todo el equipo de profesionales para determinar la mejor opción. El objetivo es determinar la ruta más óptima a partir de las restricciones ambientales generadas (Consortio Ambiental Chivor, 2016).

Con la matriz de restricciones ambientales generada, el análisis del mapa de zonificación ambiental y la implementación del modelo se obtienen 4 alternativas lineales, posteriormente se entra a realizar un análisis de la selección de alternativas por criterios socioambientales, se realizó una matriz interpretativa relacionado con la toma de decisiones, donde se registró para cada criterio y alternativa, el comportamiento del elemento a lo largo de cada una de las 4 alternativas (longitud que ocupa cada unidad por alternativa).

Con el resultado del modelo al arrojar 4 alternativas se hizo el análisis en cuanto a áreas por intervención de restricciones ambientales y costos en donde por medio de matrices de evaluar la mejor alternativa es más viable la alternativa 4. El análisis cartográfico del SIG y con los criterios restrictivos se obtiene como resultado 4 alternativas.

## 7 METODOLOGIA

### 7.1 ZONA DE ESTUDIO

Se revisó información secundaria sobre los POMCAS, POT y EOT que involucran a los municipios de Marmato y Medellín y con base a esa información se delimitó el área del proyecto, la cual comprende 486.562 hectáreas, y abarca dos municipios, con el fin de tener un límite para la elaboración de la zonificación ambiental y tener alternativas lineales.

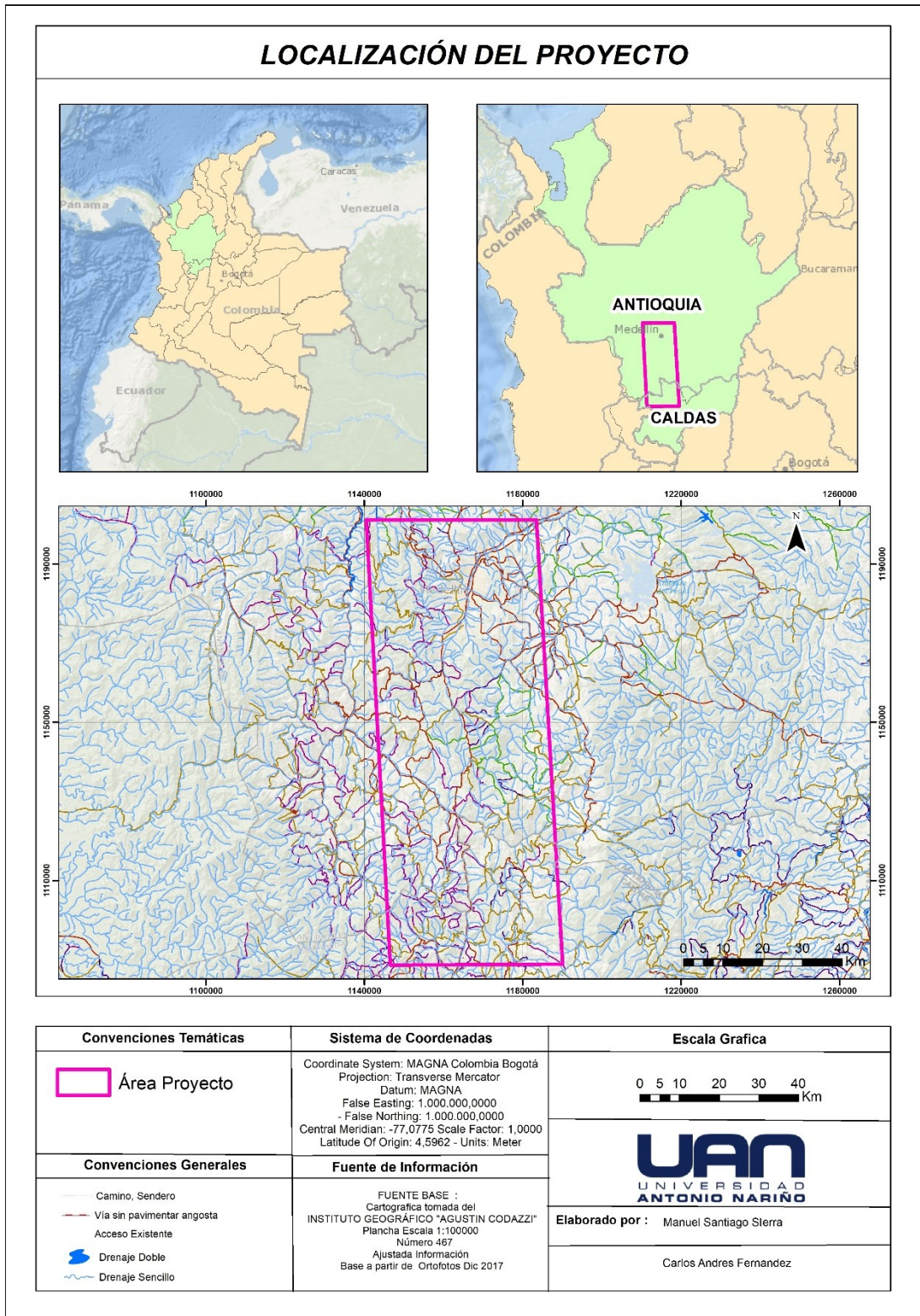
Las coordenadas del área del proyecto se presentan en la (tabla 3) y representada geográficamente en la (figura 2).

*Tabla 3:* Coordenadas del área del proyecto

<b>VERTICE</b>	<b>ESTE</b>	<b>NORTE</b>
1	1140471,1393	1201169,8191
2	1183497,0269	1201169,8191
3	1190116,3943	1088895,1657
4	1146581,3246	1088640,5746

Fuente: (Sierra y Fernández, 2020).

Figura 1: Ubicación de área del proyecto



Fuente: (Sierra y Fernández, 2020)

## 7.2 FUENTES SECUNDARIAS DE INFORMACIÓN

El diagnóstico ambiental del área del proyecto se realiza con el fin de conocer el componente Biótico, Abiótico y Físico que se encuentra en el área ubicada del proyecto, en donde se procede a consultar información espacial de diferentes fuentes donde se consultan capas geográficas que se usarán en el proyecto, se realiza un chequeo de los términos de referencia para la elaboración de diagnósticos ambientales de alternativas de proyectos lineales DA-TER-3-01 del ANLA. Se realiza una lista que tiene que ver con la búsqueda espacial de esta información en las principales fuentes de información SIG (Tabla 4).

Tabla 4: Fuentes de información

INFORMACIÓN CARTOGRAFICA	FUENTE DE DESCARGA
Aicas	<a href="http://sigotn.igac.gov.co/sigotn/">http://sigotn.igac.gov.co/sigotn/</a>
Áreas Urbanas	<a href="http://sigotn.igac.gov.co/sigotn/">http://sigotn.igac.gov.co/sigotn/</a>
Bosque Seco Tropical	<a href="http://sigotn.igac.gov.co/sigotn/">http://sigotn.igac.gov.co/sigotn/</a>
Embalses	<a href="http://sigotn.igac.gov.co/sigotn/">http://sigotn.igac.gov.co/sigotn/</a>
Lagunas	<a href="http://sigotn.igac.gov.co/sigotn/">http://sigotn.igac.gov.co/sigotn/</a>
Parques Nacionales de Colombia	SIAC
Reserva Ley Segunda	SIAC
Reservas Forestales	SIAC
Resguardo Indigenas	<a href="http://sigotn.igac.gov.co/sigotn/">http://sigotn.igac.gov.co/sigotn/</a>
RNCS	<a href="http://www.parquesnacionales.gov.co">http://www.parquesnacionales.gov.co</a>
Rondas de drenajes	<a href="http://sigotn.igac.gov.co/sigotn/">http://sigotn.igac.gov.co/sigotn/</a>
Runap	<a href="http://www.parquesnacionales.gov.co">http://www.parquesnacionales.gov.co</a>
Pendientes <60	Dem 30m
Imágenes Satelitales	USGC

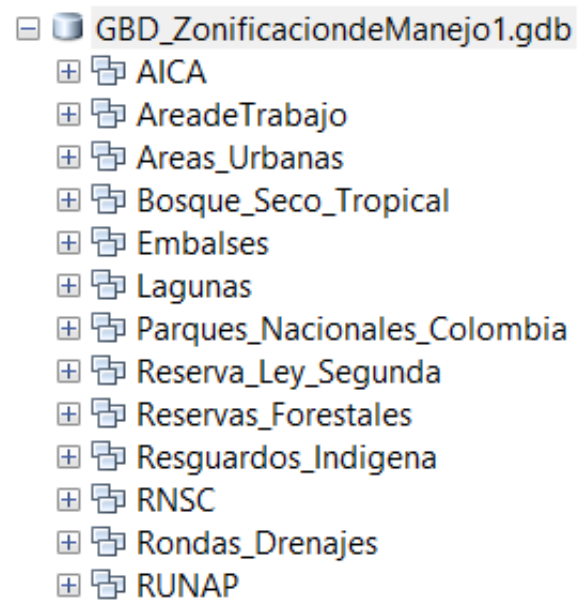
Fuente: (Sierra y Fernández, 2020).

Ya identificadas las capas se procede a realizar un geoproceto con la herramienta Clip del software ArcGis. Esta herramienta permite generar un corte de las capas temáticas respecto al área en donde se ejecutaría el proyecto.



Realizados los cortes se crea una FileGeoatbase geográfica (figura 3) con el fin de tener de una forma organizada nuestras capas.

*Figura 2: Base de datos geográfica*



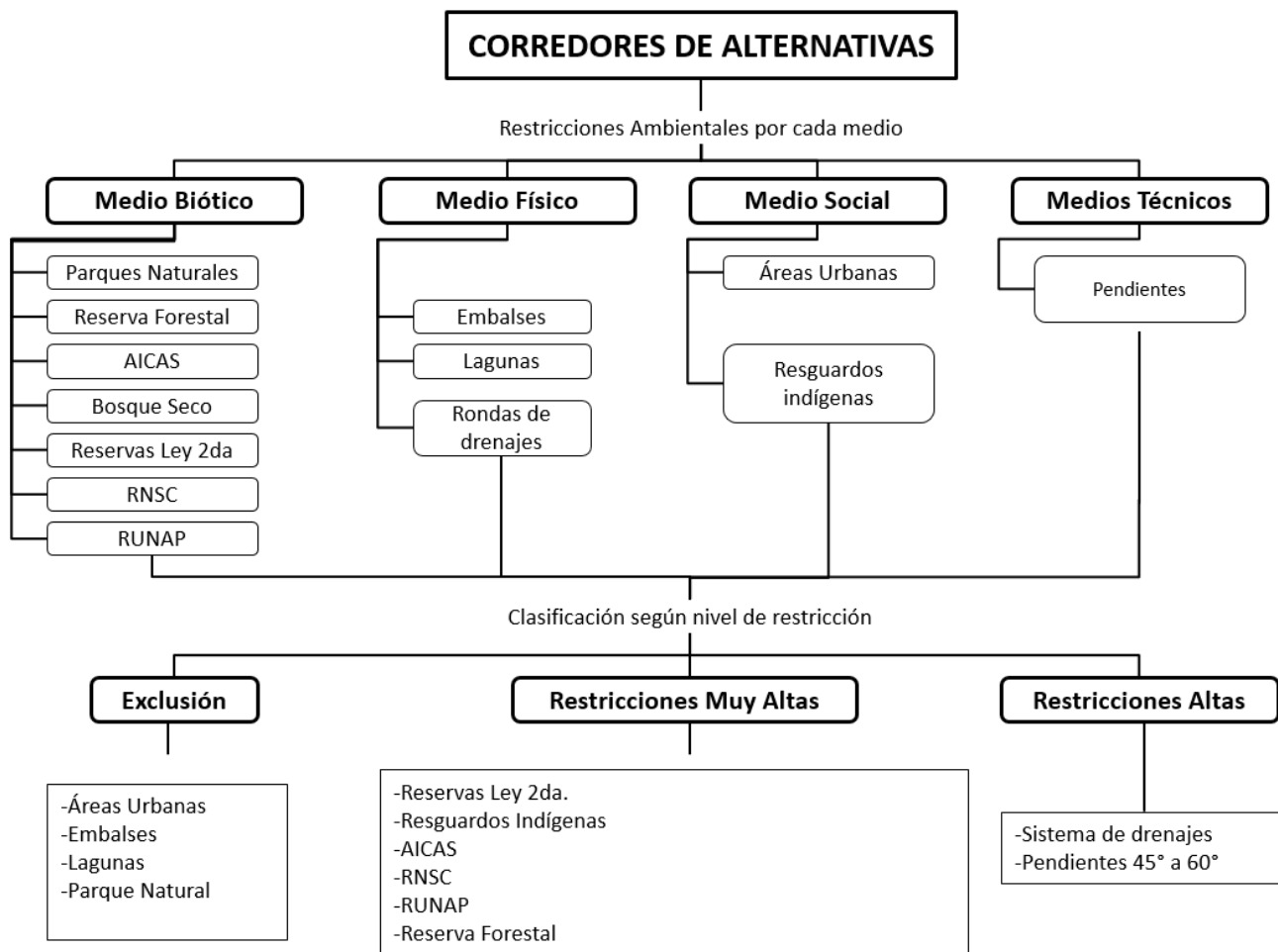
Fuente: (Sierra y Fernández, 2020).

### 7.3 TRATAMIENTO DE INFORMACIÓN RECOLECTADA PARA LA ELABORACIÓN DE LA ZONIFICACIÓN AMBIENTAL

La Información recolectada en las fuentes oficiales se hace con el fin de establecer una base con los criterios del medio Biótico, Físico y Socioeconómico en lo que se estipula en los T.R DA-TER-3-01.

Con los criterios ambientales identificados se realizó una clasificación de información (figura 3) de las temáticas consultadas anteriormente, en donde se realiza una identificación para la asignación de su restricción ambiental.

Figura 3: Clasificación de nivel de restricción para las variables en el territorio



Fuente: (Sierra y Fernández, 2020).

Identificado los niveles de restricciones para cada capa por medio del geoprocésamiento de unión, se unieron todas las capas y como resultado quedó una sola capa geográfica, en donde se asigna en su tabla de atributos la restricción asignada anteriormente con el fin de generar nuestra zonificación ambiental.

## 7.4 CRITERIOS AMBIENTALES PARA DETERMINAR ALTERNATIVAS

Lo establecido para orientar las definiciones de las restricciones ambientales se orientan en los términos de referencia de proyectos lineales que es acogida por la Resolución No. 1277 del 30 de junio 2006.

Con los criterios ya definidos y la clasificación de los niveles de restricción para cada componente según la (Figura 3) donde se clasifica en su tipo de restricción ambiental ya sea exclusión o áreas de intervención, pero con restricciones muy altas, altas o bajas.

Por medio del apoyo SIG y el programa ArcGis se procedió a realizar un modelo denominado Identificación de las Alternativas Lineales. Con el fin de realizar un primer análisis de las propuestas de los trazados generados por el modelo para determinar la mejor alternativa ambientalmente. En lo que el modelo que se ejecutó en MODEL BUILDER tendrá las herramientas que se observan en la (tabla 5) que nos permitió realizar el resultado de alternativas de líneas.

*Tabla 5: Herramientas implementadas para el modelo de análisis de ruta óptima*

HERRAMIENTA	FUNCIÓN
<b>Weighted Overlay</b>	Superpone varios rasters con una escala de medición común y pondera cada uno según su importancia (ArcGis for Desktop, 2020).
<b>Cost Distance</b>	Calcula la distancia de menor coste acumulativo para cada celda al origen más cercano sobre una superficie de coste (ArcGis for Desktop, 2020).
<b>Cost Path</b>	Calcula la ruta de menor coste desde un origen a su destino (ArcGis for Desktop, 2020).

Fuente: Elaborado a partir de información obtenida de (ArcGis for Desktop, 2020)

La primera herramienta fue (Weighted Overlay), cuya función es darle pesos numéricos de 1 a 10 a las restricciones ambientales generadas en la zonificación ambiental, con el fin de excluir la alternativa de acuerdo al peso asignado. La segunda herramienta utilizada es Cost Distance, esta función permite que se mida la distancia desde la subestación inicial (Medellín) a cada uno de los datos pixeles generados. Con la tercera herramienta (Cost Path), se toma la subestación Marmato como punto final y se toma el resultado de (Cost Distance) en donde genera una alternativa según los criterios definidos en la herramienta 1.

## 8 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presentan los hallazgos obtenidos en la ejecución de la metodología dividida en diagnóstico ambiental, zonificación ambiental y la generación de alternativas.

### 8.1 DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DEL TERRITORIO

#### 8.1.1 Evaluación de zonas de exclusión

A partir de la consulta de información secundaria en diferentes fuentes con el fin de reconocer los determinantes ambientales y factores antrópicos que hacen parte del criterio de exclusión en el área propuesta para el proyecto, se determinan las zonas de exclusión para identificar la alternativa más viable en el trazado de la línea eléctrica. Las áreas de exclusión se evidencian en la tabla 6.

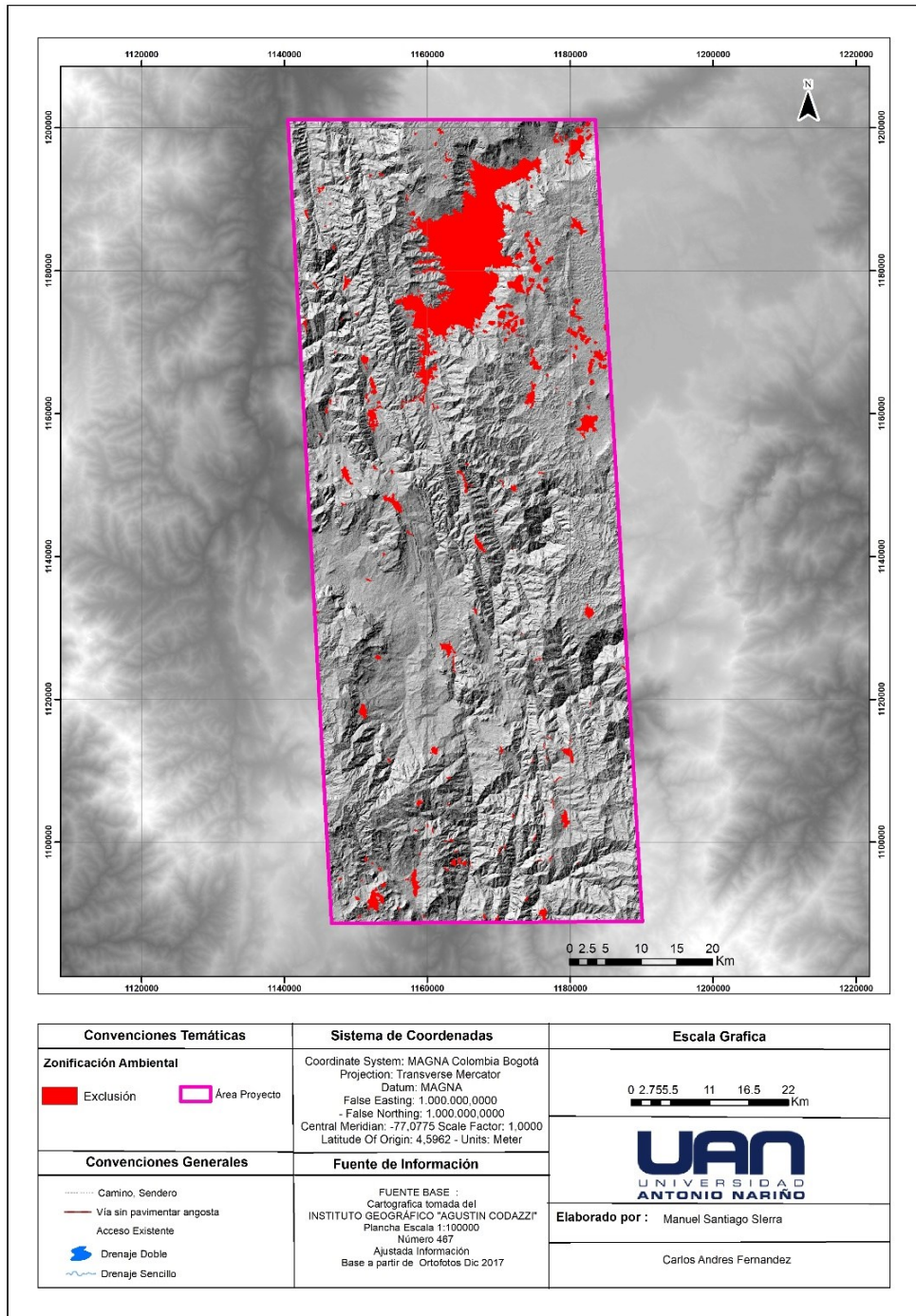
*Tabla 6* Áreas de exclusión para las alternativas del trazado de la línea eléctrica

CRITERIO	DESCRIPCIÓN	ÁREA EN HECTÁREAS
Áreas Urbanas	Cabeceras municipales y los centros poblados rurales	26.849
Parques Nacionales de Colombia	Ninguno	0
Embalses	Embalse la Fe, embalse la García y represa Piedras Blancas	168
Lagunas	Laguna de Guame y otras de menor dimensión	28

Fuente: Sierra y Fernández modificado a partir información disponible de la zona de estudio disponible en Instituto Geográfico Agustín Codazzi y Parques Nacionales de Colombia

En la información descrita en la tabla anterior se representa en el área del proyecto para las alternativas lineales las áreas de exclusión, cuyo comportamiento y distribución en el territorio se puede observar en la figura 5.

Figura 4: Distribución de áreas de exclusión en el área del proyecto



Fuente: (Sierra y Fernández, 2020).

En la figura anterior se observan en color rojo las zonas clasificadas como de exclusión, las cuales no pueden ser intervenidas por actividades del proyecto y que están conformadas por zonas urbanas, parques nacionales, embalses y lagunas. En cuanto a las zonas urbanas y centros poblados

rurales que se encuentran dentro del área del proyecto están: el municipio de caldas, la zona urbana de Medellín y parte de su zona rural, zona rural del municipio de Rio Negro, zona urbana de Amagá y Silenero, Venecia, Fredonia, Santa Barbara, Abejorral, La Pintada, Támesis, Aguadas, Pácora, Marmato, Supía y Rio Sucio; en relación a Parques Nacionales de Colombia no se encuentra esta categoría en el área del proyecto; finalmente, se hallan como áreas de exclusión importantes embalses y lagunas como: Embalses La Fé, García, Piedras Blancas y la laguna de Guarne.

### 8.1.2 Evaluación de restricciones muy altas

Posterior a la identificación de las zonas de exclusión, se definieron las zonas de restricción muy altas (se refiere a las áreas que con las actividades del proyecto podrían sufrir impactos negativos significativos o necesitar compensaciones). A demás, se relacionan con las áreas de muy alta importancia ambiental y que con una modificación o intervención antrópica podría significar mayores costos ambientales. En la tabla 7 se observan las áreas determinadas como de restricción muy alta para las alternativas propuestas en el proyecto.

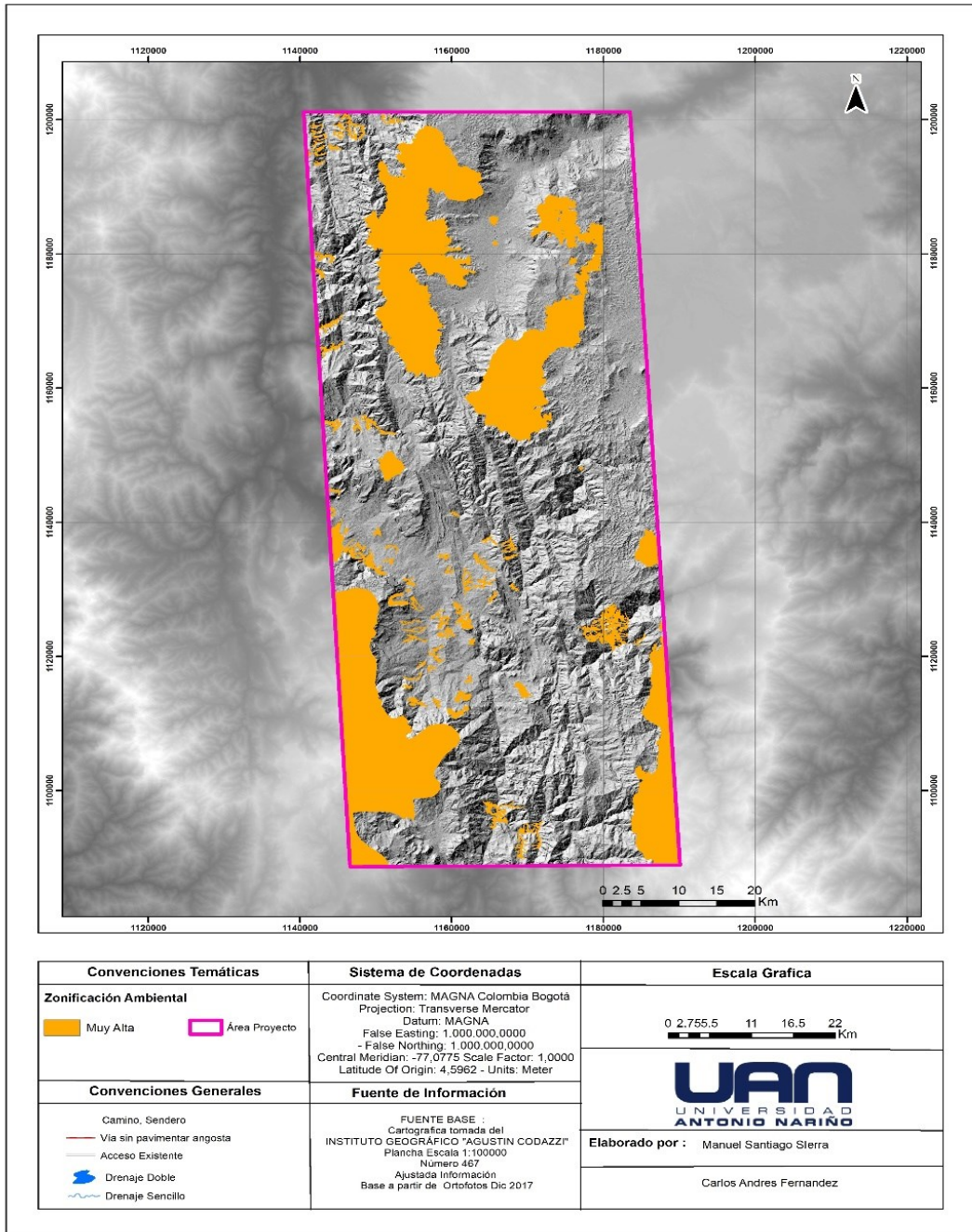
*Tabla 7 Áreas de restricción muy alta para las alternativas del trazado de la línea eléctrica*

<b>CRITERIO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>ÁREA EN HECTÁREAS</b>
Reservas Nacionales de la Sociedad Civil (RNSC)	RNSC La Virginia, San Rafael, Reserva Orquídeas de la Sociedad Colombiana de Oruideología, Mano de Oso y Montevivo	628
Registro Único Nacional de Áreas Protegidas (RUNAP): Áreas de Recreación	Parque Ecológico Cerro Nutibara, Nubes Trocha Capota, Yeguas, Reserva Orquídeas de la Sociedad Colombiana de Orquideologia, San Rafael, Montevivo, Rio Nare, Reserva Biológica El Silencio, San Miguel, Providencia, Metropolitano Cerro el Volador, Mano de Oso, La Telaraña, El Silencia, El Mana, Divisoria Valle de Aburra Rio Cauca, Cuchilla Jardín Támesis, Cerro Bravo y Altos de San Miguel.	62.132
Áreas Importantes Para la Conservación de las Aves (AICAS)	Bosques Montanos del sur de Antioquia, el AICAS San Sebastián y los Cafetales de Támesis	33.722
Reservas Forestales	No definidos a escala de trabajo en el área de referencia	
Bosque Seco Tropical	Bosque seco tropical	6.692

Fuente: Sierra y Fernández modificado a partir información disponible de la zona de estudio disponible en Instituto Geográfico Agustín Codazzi y Parques Nacionales de Colombia

En la información descrita en la tabla anterior, se representa en el área del proyecto para las alternativas lineales las áreas con restricciones muy altas, mostrando el comportamiento y distribución en el territorio evidenciado en la figura 6.

Figura 5: Distribución de áreas de restricción muy alta en el área del proyecto



Fuente: (Sierra y Fernández, 2020).



Con relación a las zonas de restricción muy alta se identificaron en el área del proyecto una cantidad considerable, determinada por la influencia de áreas importantes para la conservación de las aves, áreas protegidas y bosques seco tropical que sumadas significan un total de 102.546 hectáreas. Las áreas en esta clasificación están distribuidas a lo largo y ancho del área del proyecto lo que significa un reto en la identificación de la ruta más óptima ambientalmente para el trazado de la línea eléctrica.

### 8.1.3 Evaluación de restricciones altas

Se identifican las zonas con restricciones altas en el área del proyecto para la propuesta de alternativas lineales respecto al trazado de la línea eléctrica. Estas zonas se relacionan con las rondas de protección de los drenajes y las pendientes. En la tabla 8 se observan las áreas determinadas como de restricción alta para las alternativas propuestas en el proyecto.

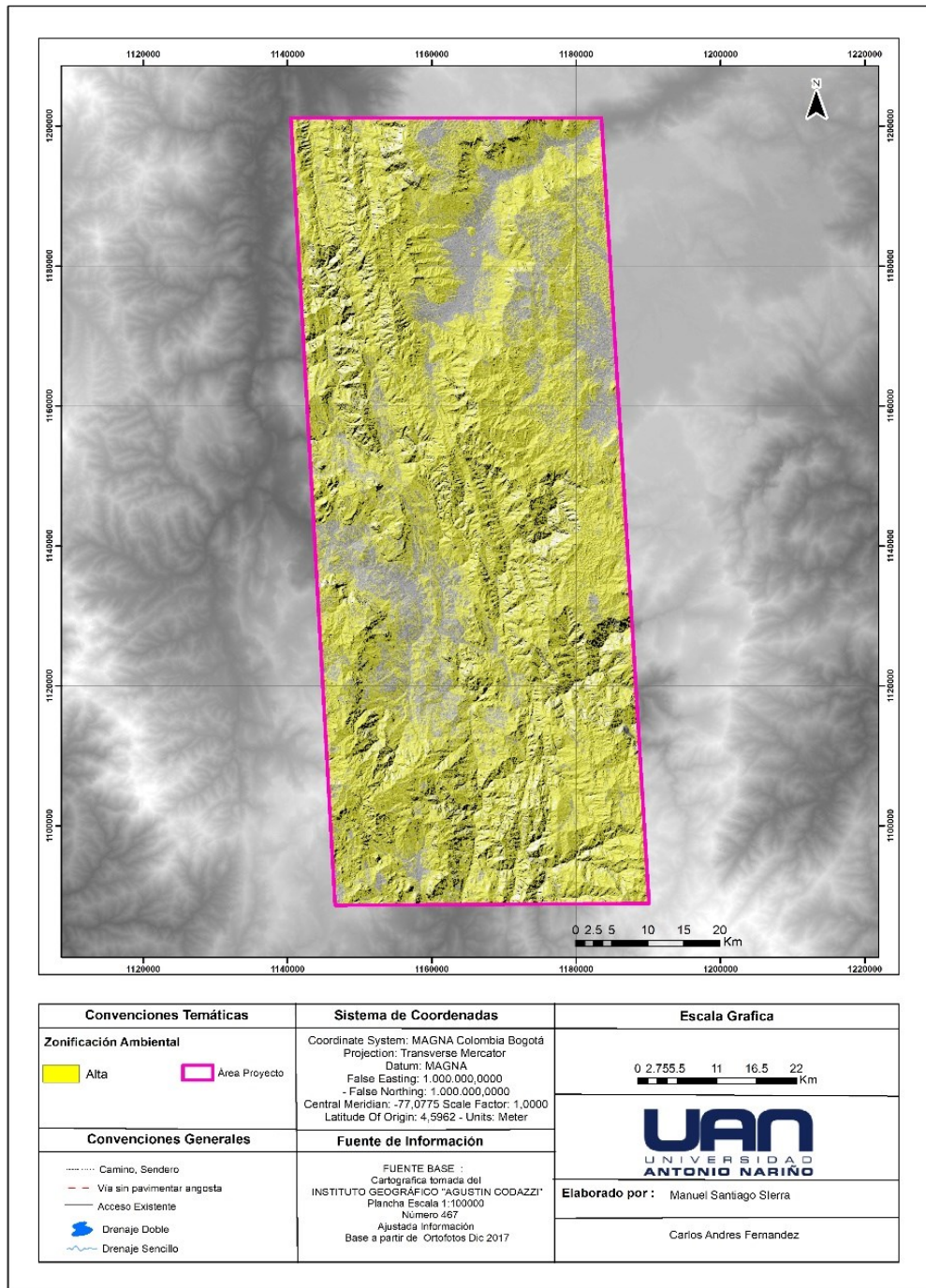
*Tabla 8: Áreas de restricción alta para las alternativas del trazado de la línea eléctrica*

CRITERIO	DESCRIPCIÓN	ÁREA EN (Ha) o LONGITUD (Km)
Rondas de Drenajes	En el área del proyecto se encuentran Ríos, quebradas y arroyos como, por ejemplo: el Rio Amoya, Rio Arma, Rio Claro. En cuanto a quebradas encontramos Quebrada la perdida, Quebrada la Santa marta, Quebrada Agudelo y los arroyos la quebrada y arroyo cuchacara	2.616 Km
Pendientes	Para el área de estudio encontramos pendientes de los rangos de :A nivel, 0-1%-Ligeramente plana, 1-3% - Ligeramente inclinada, 3-7% - Moderadamente inclinada, 7-12%-Fuertemente inclinada, 12-25-Ligeramente escarpada o ligeramente empinada, 25-50%-Moderadamente escarpada o moderadamente empinada, 50-75% - Totalmente escarpada, >100%	Varía según la pendiente

Fuente: Sierra y Fernández modificado a partir información disponible de la zona de estudio disponible en Instituto Geográfico Agustín Codazzi y Parques Nacionales de Colombia

En la información descrita en la tabla anterior, se representa lo que corresponde en el área del proyecto las áreas con restricciones altas para las alternativas lineales, mostrando el comportamiento y distribución en el territorio como se evidencia en la figura 7.

Figura 6: Distribución de áreas de restricción alta en el área del proyecto



Fuente: (Sierra y Fernández, 2020).

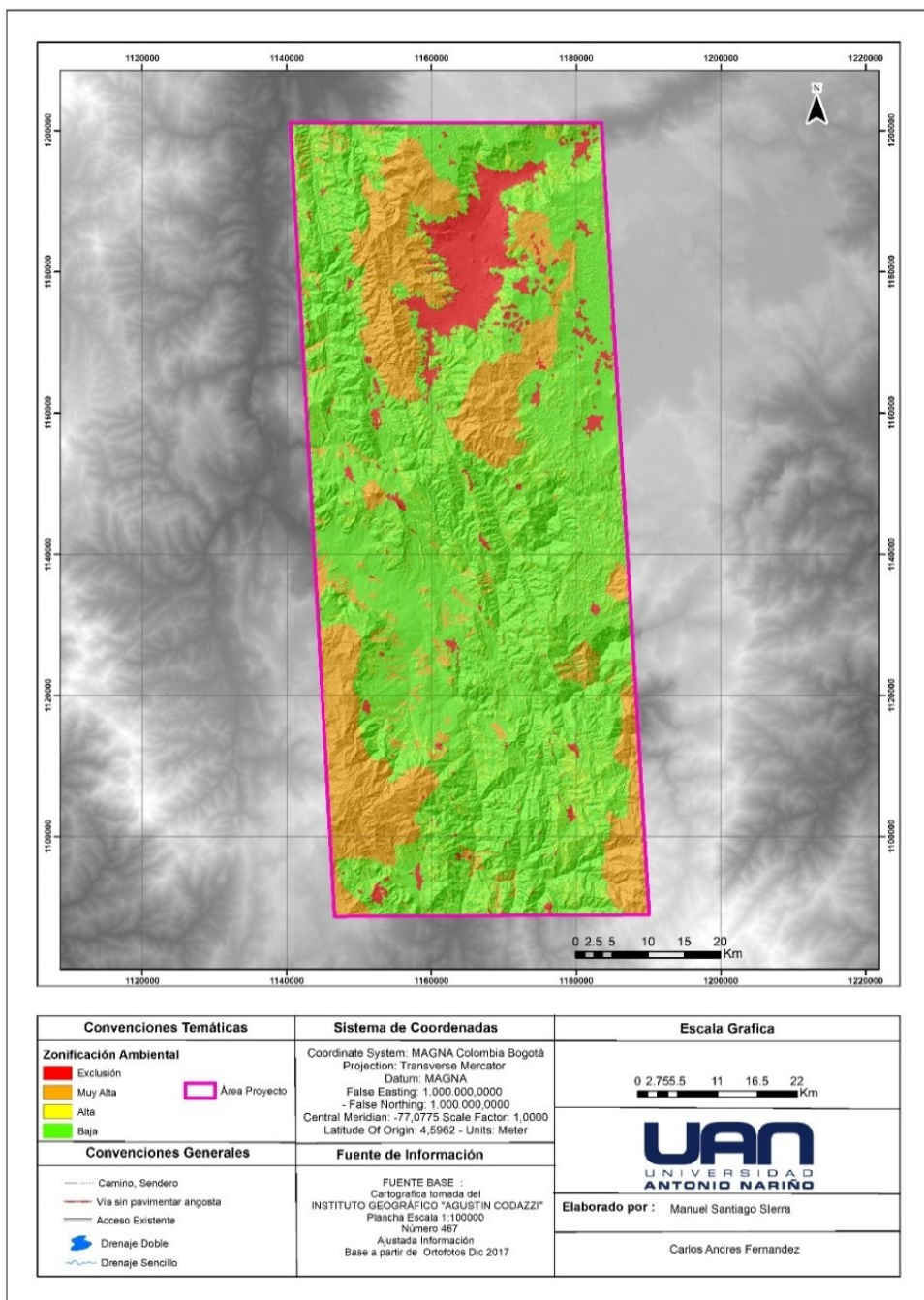
Con respecto a las zonas de restricción alta se identificaron en el área del proyecto rondas de drenaje y pendientes. Estos dos elementos son muy comunes en esta zona, dado que, por

encontrarse en la cordillera central hay una importante presencia de drenajes de segundo y tercer nivel y está compuesta de una topografía irregular.

## **8.2 ZONIFICACIÓN AMBIENTAL PARA EL ÁREA DE ESTUDIO**

Se zonificó el área del proyecto con criterios de áreas de exclusión, restricción muy alta, restricción alta y restricción baja cuyo resultado se observa en la figura 8. Se logra detallar que la mayoría de las áreas se encuentran en zonas de restricción baja.

Figura 7: Zonificación ambiental para el área del proyecto



Fuente: (Sierra y Fernández, 2020).

La Zonificación de manejo tiene en cuenta la sensibilidad de cada ecosistema, dinámica social e infraestructura como resultado de cada sensibilidad se obtuvieron las categorías de exclusión y las restricciones muy altas, altas y bajas. En cuanto a la construcción de la zonificación de manejo se tuvo en cuenta las capas geográficas en las que, con la restricción ya definida por medio del

software ArcGis se realizaron geoprocetos para llegar a una zonificación final. La zonificación de manejo define las zonas que no son y las que son óptimas para la ejecución del proyecto. En la tabla 9 se describen cada una de las restricciones consideradas en el proyecto.

Tabla 9: Definición de alternativas

RESTRICCIONES	DESCRIPCIÓN
<b>Exclusión</b>	Son las áreas que por sus condiciones ambientales son los medios más importantes y que por ningún motivo serán intervenidos en la ejecución del proyecto debido a que presentan una oferta ambiental muy alta.
<b>Restricciones altas y muy altas</b>	Por su sensibilidad ambiental, potencial ambiental y su fragilidad se requiere limitar el máximo su intervención.
<b>Restricciones bajas</b>	En estas zonas de restricciones bajas se podrán ejecutar las actividades del proyecto, y que al ser intervenidas no van a representar un impacto ambiental negativo ambientalmente alto.

Fuente: (Sierra y Fernández, 2020).

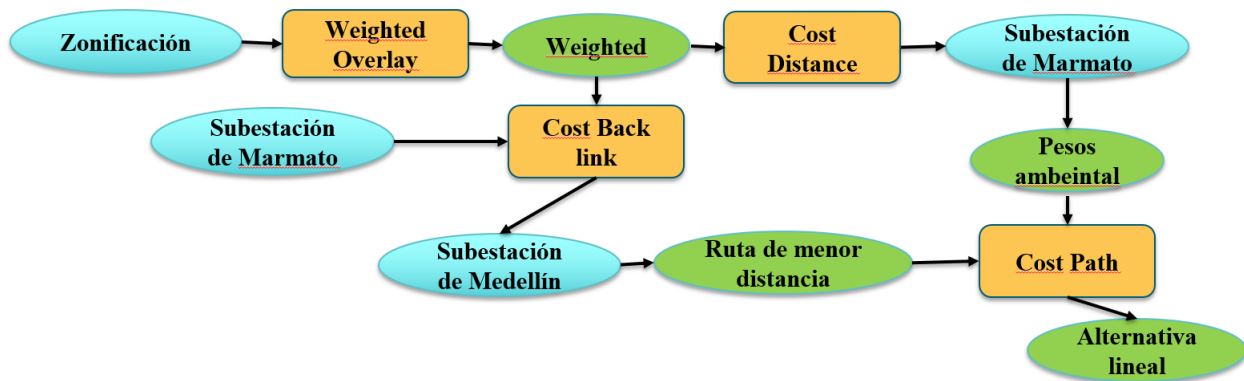
Se evidencia que, a las áreas de exclusión le corresponde un total de (27.039 Ha) y a las áreas de restricción bajas (216.433 Ha), es decir, tiene más área la restricción baja para la ejecución del proyecto, lo cual beneficia la identificación de la ruta más óptima por tener más opciones en el área del proyecto para su trazado.

### **8.3 DEFINICIÓN DE LA RUTA ÓPTIMA PARA EL TRAZADO DE LA LÍNEA ELÉCTRICA**

De acuerdo al modelo elaborado en ArcGis Denominado “Modelación de Alternativas Lineales” figura 9, Se implementaron las herramientas (Weighted Overlay, Cost Distance y Cost Path. El primer paso es implementar la herramienta Weighted Overlay que consiste en tomar la capa que se estructuró a partir de varias capas con el resultado final denominado Zonificación Ambiental con sus restricciones ambientales.

Un segundo paso consistió en utilizar la herramienta denominada Cost Distance con el fin de establecer rangos de un nivel de importancia (Máximo) y con esto obtener un formato raster denominado Cost Dist Sub 1, Además se genera otro raster denominado Backlink que es de “menor costo”. El último paso es implementar la herramienta de Cost Path con los archivos en formato raster generando costos de distancia y menor costo. Con este proceso se realizó la ruta óptima.

Figura 8: Modelo de identificación de las alternativas lineales



Fuente: (Sierra y Fernández, 2020).

En el modelo denominado “Identificación de las Alternativas Lineales” se implementaron 3 herramientas importantes ((Weighted Overlay, Cost Distance y Cost Path), que permitieron la identificación de tres trazados y así la definición de cuál es la mejor alternativa ambientalmente. Esto se hace asignando pesos a las variables de las restricciones ambientales con la herramienta Weighted Overlay con el fin de evaluar la mejor opción.

Para definir la mejor alternativa para el proyecto se plantearon tres escenarios, El modelo realizado permitió por medio de la herramienta Weighted Overlay determinar rangos de 1 a 10, donde 1 es el rango más bajo y 10 el más alto. Esta calificación es utilizada para asignar el rango según el tipo de restricción ambiental determinadas en la zonificación ambiental del proyecto.

Según su nivel de restricción ambiental se dio un valor de 1 a 10 con la finalidad de que se respetaran las zonas de exclusión y restricciones altas en el proyecto, los valores necesarios para poder lograrlo se encuentran entre los pesos más altos.

Como se sabe las zonas de exclusión corresponde a zonas que no pueden ser intervenidas por el proyecto como lo son: áreas urbanas, lagunas, embalses y parques nacionales de Colombia; y las áreas con restricciones muy altas, por su sensibilidad ambiental, se pretende que no sean intervenidas, como lo son: Aicas, Bosques Secos, Reserva Ley Segunda, Runap. Por esta razón es que para estas dos restricciones se les da el mayor rango posible para que el modelo de alternativas no las tenga en cuenta en el trazado de una ruta óptima.

A continuación, se evidencian los pesos asignados a las áreas de exclusión y con restricciones en la primera ruta que se denominará Alternativa 1, el rango del peso es de 1 a 10. En este caso se le asigna un peso de 8 al área de restricción muy alta; 6 al área de restricción alta; 1 al área de restricción baja y 9 al área de exclusión (figura 10).

Figura 9: Alternativa 1

Raster	% Influence	Field	Scale Value
^ Zonificación Po	100	Zonifica F	↩
		Alta	6
		Baja	1
		Exclusión	9
		Muy Alta	8
		NODATA	NODATA

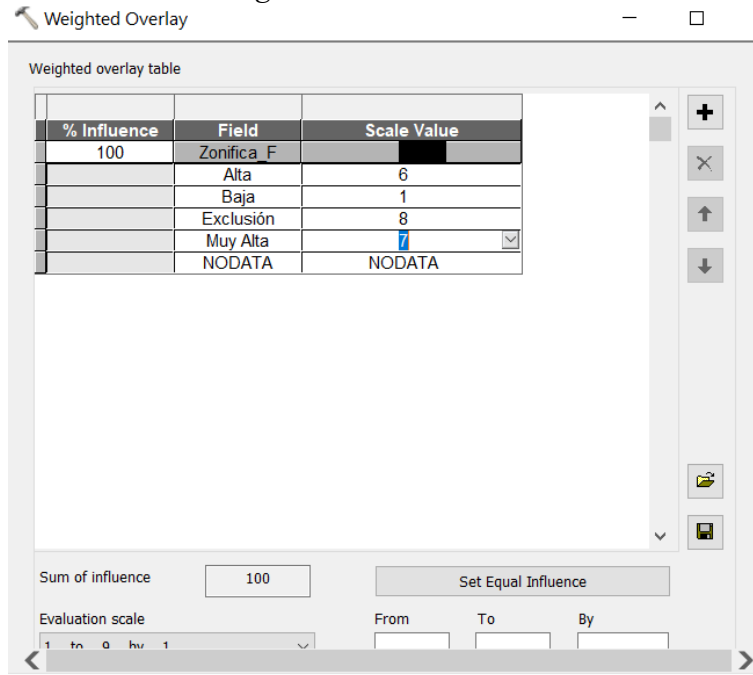
Sum of influence: 100      Set Equal Influence

Fuente: (Sierra y Fernández, 2020).

Respecto a la segunda ruta, se evidencian los pesos asignados a las áreas de exclusión y con restricciones, esta será denominada como Alternativa 2, el rango del peso es de 1 a 10. En este

caso se le asigna un peso de 7 al área de restricción muy alta; 6 al área de restricción alta; 1 al área de restricción baja y 8 al área de exclusión (figura 11).

Figura 10: Alternativa 2



Weighted overlay table

% Influence	Field	Scale Value
100	Zonifica F	
	Alta	6
	Baja	1
	Exclusión	8
	Muy Alta	7
	NODATA	NODATA

Sum of influence: 100

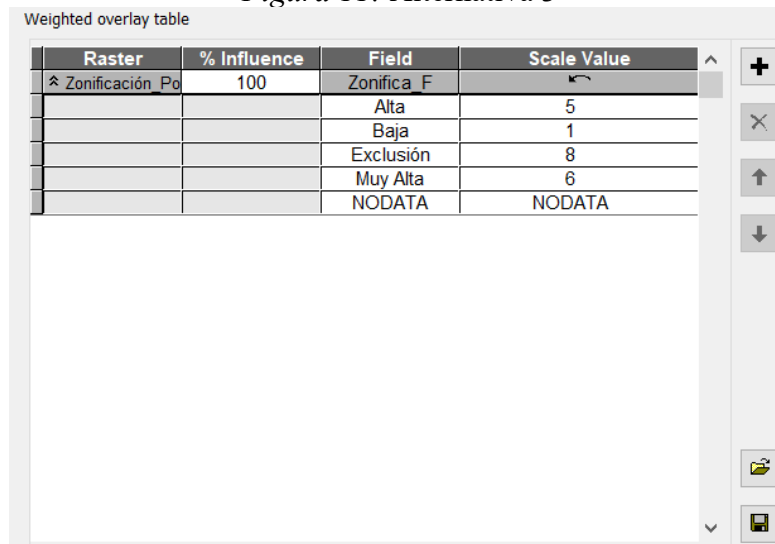
Evaluation scale: 1 to 9 by 1

Fuente: (Sierra y Fernández, 2020).

En cuanto a la tercera ruta, se evidencian los pesos asignados a las áreas de exclusión y con restricciones, a esta ruta será le llamará Alternativa 3, el rango del peso es de 1 a 10 como en las anteriores rutas, en este caso se le asigna un peso de 6 al área de restricción muy alta; 5 al área de restricción alta; 1 al área de restricción baja y 8 al área de exclusión (figura 12).



Figura 11: Alternativa 3

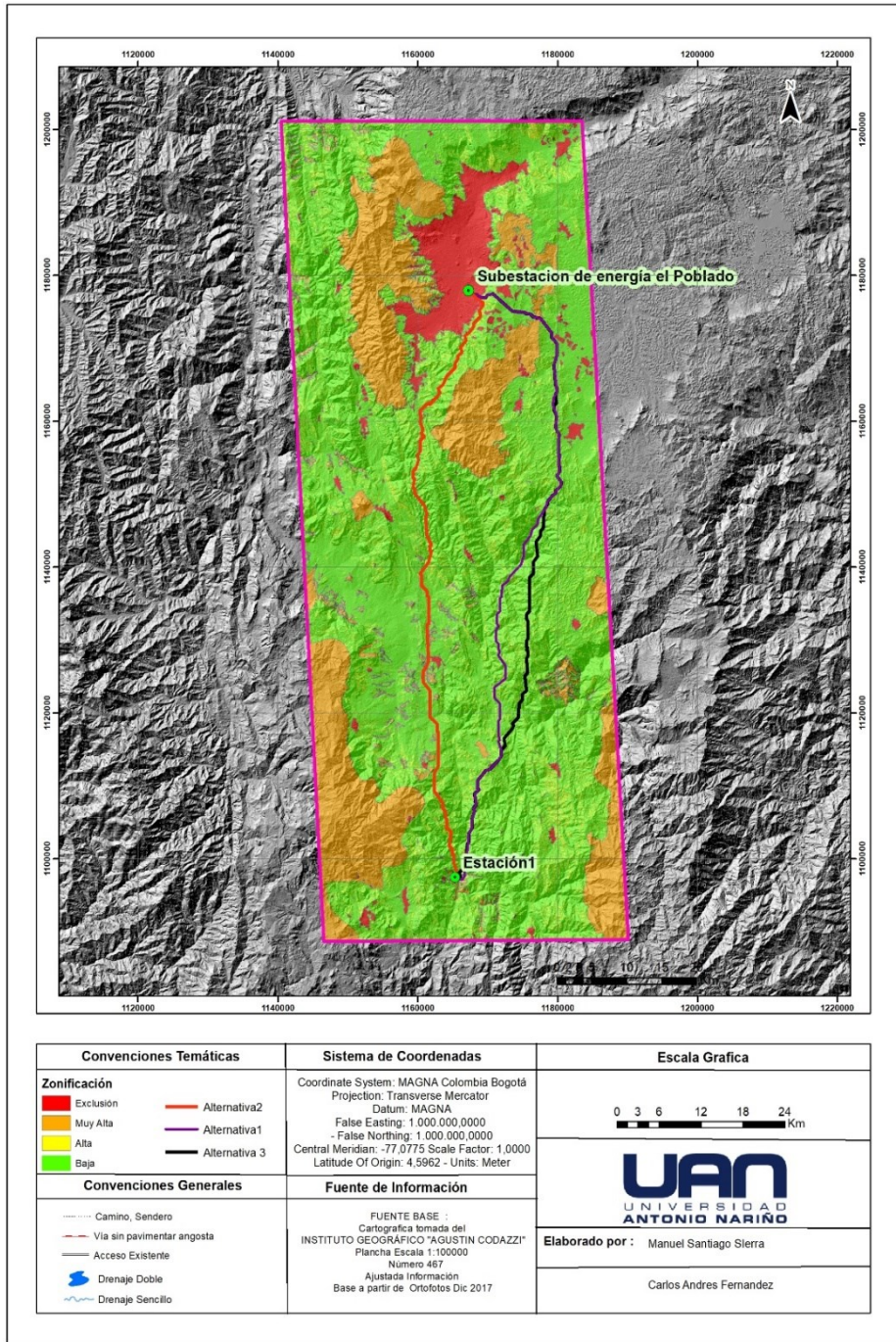


Raster	% Influence	Field	Scale Value
^ Zonificación Po	100	Zonifica F	↶
		Alta	5
		Baja	1
		Exclusión	8
		Muy Alta	6
		NODATA	NODATA

Fuente: (Sierra y Fernández, 2020).

Después de realizar la asignación de pesos de importancia a cada una de las variables involucradas en el análisis, se obtiene como resultado un mapa en donde identifican tres alternativas para el trazado de la línea eléctrica, las cuales, según el peso asignado arrojan rutas que proponen minimizar los impactos ambientales negativos en el proyecto (figura 13).

Figura 12: Alternativas para el trazado de la línea eléctrica



Fuente: (Sierra y Fernández, 2020).

Seguidamente, se hace una relación para identificar la longitud que tiene cada alternativa en áreas de exclusión y áreas con restricción (tabla 10).

Tabla 10: Cruce entre alternativas y áreas de exclusión y con restricción

ALTERNATIVAS		ALTERNATIVA A1	ALTERNATIVA A2	ALTERNATIVA A3
CRITERIOS	ELEMENTO	LONGITUD 165,8 (KM)	LONGITUD 166,2 (KM)	LONGITUD 169,5 (KM)
<b>Exclusión</b>	Áreas urbanas	1,798111	2,10142	1,930405
	Lagunas	0	0	0
	Embalses	0	0	0
	Parques Nacionales de Colombia	0	0	0
	AICAS.	0	0	0
<b>Áreas con Restricciones Muy Altas</b>	Bosque seco tropical	0,3065	0,472339	0,18656
	Reserva ley segunda	0	0	0
	Reservas forestales	0	0	0
	RNSC	0	0	0
	RUNAP	0,550327	0	0,550327
<b>Áreas con Restricciones Altas</b>	Rondas de drenajes	0	0	0
	Pendientes			
<b>Restricción baja</b>		71,448366	65,143715	71,015822

Fuente: (Sierra y Fernández, 2020).

La alternativa número 2 evidencia mayor de intersecciones con zonas urbanas, seguida de la alternativa 3. En este sentido, la alternativa número 1 es la que menos impactos negativos causaría en cuanto al desarrollo de esas zonas, las condiciones de zonas urbanas también podrían incrementar los costos del proyecto por estar definidas como áreas de exclusión. En cuanto a las áreas con restricción alta y muy alta la alternativa número 1 está en desventaja respecto a las alternativas número 2 y número 3, ya que es la alternativa que tiene más parte de su trazado en zonas con esas restricciones.

Con el fin de hacer un análisis técnico para definir la mejor alternativa se evaluó la tabla número 10 en donde se tuvo en cuenta el factor ambiental, el cual se relaciona con una menor intervención en las áreas de restricción muy alta y una mayor intervención en restricciones bajas.

Teniendo en cuenta que, existe una mayor importancia en las áreas de restricción muy alta y alta y considerando que si se intervienen las áreas con restricciones, el impacto será negativo a los componentes Bióticos, Abióticos y Socioeconómicos del proyecto. Se concluye que la alternativa número 2 tiene una mayor intervención en las zonas de exclusión con un total de 2,10 Ha por tal razón esta alternativa queda descartada.

Las alternativas número 1 y 3 presentan una menor distancia desde el punto de origen hasta el punto de destino con respecto a la alternativa número 2 y su trazado tiene mayor recorrido en las zonas de restricción baja. Finalmente, al comprar las alternativas 1 y 3 se concluye que la alternativa 3 presenta una mayor distancia en kilómetros, lo cual podría representar un incremento económico en el momento de su construcción con respecto a la alternativa número 1, por tal motivo la que representa una mayor favorabilidad en el momento de su construcción, que causará el menor impacto ambiental negativo y tendrá menos costos económicos es la alternativa número 1 para el desarrollo del DAA.

Dado lo anterior, la recomendación técnica en cuanto a la ruta más viable para la ejecución del del trazado de la línea eléctrica es la alternativa número 1 como se puede evidenciar en la matriz representada en la tabla 11.

*Tabla 11: Matriz de resultado para el análisis de la mejor alternativa*

<b>CRITERIO / ALTERNATIVA</b>	<b>ALTERNATIVA 1 165,8 (KM)</b>	<b>ALTERNATIVA 2 166,2 (KM)</b>	<b>ALTERNATIVA 3 169,5 (KM)</b>
<b>Exclusión</b>	1.798111	2.10142	1.930405
<b>Muy Alta</b>	0.825979	0.472339	0.699514
<b>Alta</b>	26.079375	23.875893	25.021942
<b>Baja</b>	71.448366	65.143715	71.015822

Fuente: (Sierra y Fernández, 2020).

## 9 CONCLUSIONES

El propósito de este estudio es sentar las bases de la factibilidad para la realización de un proyecto que permita mejorar el servicio y aumentar la demanda de energía eléctrica en el municipio de Marmato, la justificación principal es debido al crecimiento urbano que está presentando. La ejecución del proyecto incidirá en el desarrollo de la agroindustria, el turismo y el sector de vivienda, entre otros.

Por eso se quiere llegar a determinar una alternativa óptima para el intercambio de energía de Medellín al municipio de Marmato. Para lograr esta mejor alternativa se realiza una caracterización de los medios Bióticos, Abióticos y Socioeconómicos que son de suma importancia en la ejecución de cualquier proyecto con el fin de determinar el menor impacto negativo posible en el ambiente, por eso se opta por realizar una zonificación ambiental donde espacialmente nos da la alerta de zonas que no pueden ser intervenidas por su importancia ambiental.

Generar la zonificación ambiental a partir de información secundaria de fuentes oficiales ambientales tales como el SIGOT, IGAC, SIAC, PNN, USGC, entre otros, permitió espacializar la información y evidenciar lo que se encontraba en el territorio enmarcado por el área de influencia, para así darle un peso ambiental a cada componente que se evidenciaría en la zona de estudio.

En la zonificación ambiental se pudo evidenciar que existen zonas de importancia ambiental como son los Resguardos indígenas, Parques nacionales y lagunas que según los criterios para los estudios ambientales son zonas que no pueden ser intervenidas por ningún motivo y son clasificadas como áreas de exclusión.

En la ejecución de la zonificación ambiental resultaron 4 restricciones ambientales, esta clasificación surgió a partir de la caracterización de los componentes Bióticos, Abióticos y Socioeconómicos en el área de estudio. Por medio del programa ArcGis se logró obtener un modelo permitió determinar 3 alternativas lineales denominadas 1, 2 y 3 a partir de las variables utilizadas y las restricciones ambientales definidas.

Concluimos que, para el proyecto, de las 3 alternativas generadas las más viables son las 1 y 3, pero la que menor distancia representa desde el punto de inicio al punto final es la 1, lo que, por términos de costos en el momento de la construcción podría representar un gasto menor económicamente por que es la que representa la menor distancia.

El proyecto es viable debido a que en el área de estudio y dadas las restricciones ambientales generadas por la zonificación ambiental, la que mayor área tiene dentro del área del proyecto es la restricción baja.

A partir de las variables incluidas en la restricción alta se determina que el área del proyecto está afectada por pendientes mayores a  $60^\circ$  lo que podría significar un problema al momento de decidir la ubicación de las torres de energía.

Medellín es la mejor alternativa de abastecimiento de energía para el municipio de Marmato, debido que cuenta con la infraestructura en cuanto a subestaciones, torres, líneas y todo lo relacionado para el suministro de la energía, además, es un punto intermedio entre la que va a ser la hidroeléctrica más importante del país y el municipio de Marmato.

Al contar con una subestación eléctrica nueva en el municipio de Marmato, se abre la posibilidad de que esta funcione como distribuidor del servicio a los municipios aledaños que carecen de energía eléctrica.

Al contar con un mejor suministro de energía, el sector agroindustrial en la región alrededor de Marmato tendría la oportunidad de tecnificarse al poder implementar nuevas tecnologías alimentadas por el sector energético como por ejemplo maquinaria, equipos que funcionen con energía para el proceso de la producción agrícola entre otras.

## 10 RECOMENDACIONES

Se recomienda para el momento de la ejecución del proyecto tener en cuenta:

- 1- Hacer un estudio a profundidad de costos económicos para las alternativas 1 y 3 que son las más viables ambientalmente.
- 2- Al ser un proyecto viable en el DAA se recomienda hacer un estudio a una menor escala, debido a que este estudio se trabajó a una escala: 1:25.000 donde no se tiene un detalle tan exacto y no se puede evidenciar todo lo que se encuentra en el área de estudio.
- 3- Se recomienda a los gobiernos locales y a las entidades encargadas disponer en la web en los portales oficiales o levantar información de aspecto Bióticos, Abióticos y Socioeconómicos más detallada sobre el área de estudio.
- 4- Hacer un estudio más detallado de la topografía del lugar para así determinar la ubicación de las estaciones eléctricas debido a que en las pendientes generadas durante el proyecto resultaron significantes áreas con pendientes mayores a 60°
- 5- Crear esta subestación es una oportunidad para la alcaldía municipal de fortalecer el sector agroindustrial.
- 6- Se recomienda crear un ente desde la alcaldía de Marmato para que se encargue de las articulaciones y estudios necesarios para poder hacer realidad el proyecto aprovechando la puesta en funcionamiento de la hidroeléctrica más importante del país.
- 7- Se debe considerar en los proyectos de expansión urbana las limitaciones en la oferta y calidad del servicio de energía que tiene el municipio de Marmato.
- 8- Se recomienda ejecutar un estudio para determinar la cantidad de vértices necesarios para ubicación de torres en las líneas 1 y 3.
- 9- Se recomiendo realizar un estudio con el fin de identificar los suelos aptos para la ubicación de las torres
- 10- Para la seleccionar la mejor opción en costos económicos se debe tener en cuenta la base catastral en cuanto a avalúo de los predios para la imposición de las servidumbres.
- 11- Se recomienda realizar un plan de compensación por pérdida de biodiversidad al momento de planear la ejecución del proyecto.

## 11 REFERENCIAS

- Ahmed, Ibrahim y Hefny, S. (2018). Obtenido de <http://ceur-ws.org/Vol-2144/paper2.pdf>
- Alcaldía de Marmato. (2014). *Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT)*. Caldas, Marmato. Obtenido de [https://marmatocaldas.micolombiadigital.gov.co/sites/marmatocaldas/content/files/000215/10707\\_eot--decreto-0272014.pdf](https://marmatocaldas.micolombiadigital.gov.co/sites/marmatocaldas/content/files/000215/10707_eot--decreto-0272014.pdf)
- Alida Carolyn Bustillos Ramirez. Víctor Jesús Pérez Lisboa. (2015). *Introducción a las líneas de transmisión de energía eléctrica*. Artículos Técnicos.
- ANLA. (2018, p.26). *Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible*. Obtenido de <http://www.andi.com.co/Uploads/Metodolog%C3%ADa%20Estudios%20Ambientales%202018.pdf>
- ANLA. (10 de Septiembre de 2020). *Autoridad Nacional de Licencias Ambientales*. Obtenido de <http://portal.anla.gov.co/diagnostico-ambiental-alternativas>
- Bang, Heo y Sohn, S.-G. (03 de Enero de 2010). *Europe PMC*. Obtenido de <https://europepmc.org/article/MED/22315544?singleResult=true>
- Brenes, G. V., & Robles, D. I. (2016). *Diseño, Cálculos Eléctricos Y Mecánicos de un Proyecto de Electrificación Rural en la Comunidad Tisey Municipio de Wiwili*. Managua: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Bustillos Ramirez Alida Carolyn, B. (2015). *Introducción a las líneas de transmisión de energía eléctrica*. Carabobo.
- Caldas, A. M. (s.f). *Alcaldía Municipal de Marmato Caldas*.
- Calvo, Moreno, Zmorano y Szanto, F. (17 de Mayo de 2005). *ScienceDirect*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X05000991#!>



CMGRD. (2015). *Consejo Municipal para la Gestion del Riesgo de desastres*. Obtenido de <file:///C:/Users/Manuel%20Santiago/Downloads/PMGRD%202015.pdf>

Congreso de la República. (22 de Diciembre de 1993). *LEY 99 DE 1993*. Obtenido de <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Normal.jsp?i=297>

Cossari y Luna, N. G. (2005). *SAIJ*. Obtenido de <http://www.saij.gob.ar/nelson-cossari-principio-prevencion-evaluacion-impacto-ambiental-dacc050081-2005/123456789-0abc-defg1800-50ccanirtcod>

Decreto 1753 de 1994. (s.f.). *Presidencia de la República*. Obtenido de <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Normal.jsp?i=1299#1>

Decreto N° 027 de 2014. (2014). *Alcaldía Municipal del Municipio de Marmato*. Obtenido de [https://marmatocaldas.micolombiadigital.gov.co/sites/marmatocaldas/content/files/000215/10707\\_eot--decreto-0272014.pdf](https://marmatocaldas.micolombiadigital.gov.co/sites/marmatocaldas/content/files/000215/10707_eot--decreto-0272014.pdf)

Dinero. (30 de Octubre de 2020). *Revista Dinero*. Obtenido de <https://www.dinero.com/edicion-impresa/editorial/articulo/cuales-son-los-retos-energeticos-de-colombia/296262>

E Matallana M.J. Amaya J.C. Mejía. (2015). *PROYECTO UPME 04-2014*. Bogota.

El Colombiano. (11 de Septiembre de 2011). *Energía para el Desarrollo*. Obtenido de [https://www.elcolombiano.com/historico/energia\\_para\\_el\\_desarrollo-cyec\\_150534](https://www.elcolombiano.com/historico/energia_para_el_desarrollo-cyec_150534)

EPM. (2013). *Empresas Públicas de Medellín*. Obtenido de [https://www.epm.com.co/site/clientes\\_usuarios/clientes-y-usuarios/nuestros-servicios/energ%C3%ADa/generaci%C3%B3n-de-energ%C3%ADa](https://www.epm.com.co/site/clientes_usuarios/clientes-y-usuarios/nuestros-servicios/energ%C3%ADa/generaci%C3%B3n-de-energ%C3%ADa)

EPM. (2020). *Empresas Públicas de Medellín*. Obtenido de <https://www.epm.com.co/site/home/sala-de-prensa/noticias-y-novedades/epm-llego-al-cliente-2-millones-del-servicio-de-energia-electrica-en-antioquia>

ESRI. (10 de Septiembre de 2020). *ArcGis Desktop*. Obtenido de <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.5/extensions/network-analyst/route.htm>

franzpc. (28 de julio de 2013). <https://acolita.com/combinacion-de-bandas-para-landsat-8/>.

Guarin Gonzalez, J. (2015, p.2). *Análisis de Redes para la Determinación de la Ruta Óptima de Zonas de Servicios de Productos Lácteos en el Área Urbana del Municipio de Fusagasugá*. Obtenido de [http://repositorio.ucundinamarca.edu.co/bitstream/handle/20.500.12558/1476/DOCUMENTO\\_FINAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.ucundinamarca.edu.co/bitstream/handle/20.500.12558/1476/DOCUMENTO_FINAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Ingenieria Real. (consultado el 01/05/2020). *¿Qué es y para qué sirve ArcGIS?* consultado de <https://ingenieriareal.com/te-explicamos-el-uso-del-arcgis-y-descarga-la-ultima-version-aqui/>.

Jervis, T. M. (s.f). *LIFEDER.COM*. Obtenido de <https://www.lifeder.com/fuentes-primarias-secundarias/>

Jimenez Mesa, O. R., Cantu Gutierrez, V., & Conde Enriquez, A. (2006). *Líneas de Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica*. Nuevo León (México): Ciudad Universitaris, San Nicolas de los Garza.

Manfre, Silva, Urban y Rodgers, L. (01 de Junio de 2013). *Repositorio Institucional UNESP*. Obtenido de <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/111714?locale-attribute=es>

Ministerio de Ambiente. (2018). *METODOLOGÍA GENERAL PARA LA ELABORACIÓN Y PRESENTACIÓN DE ESTUDIOS AMBIENTALES*. Bogota.

Montalvo Navarrete, J. (2017, p.39). Obtenido de [https://feparunsa.files.wordpress.com/2012/07/seleccion\\_tecnologc3ada\\_electrificacion\\_rural.pdf](https://feparunsa.files.wordpress.com/2012/07/seleccion_tecnologc3ada_electrificacion_rural.pdf)

NEPA. (05 de 09 de 2020). *Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos*. Obtenido de <https://www.epa.gov/laws-regulations/summary-national-environmental-policy-act>

ONU. (1973). *Organización de las Naciones Unidas*. Obtenido de <https://www.un.org/spanish/conferences/wssd/unced.html>

Portafolio. (12 de Junio de 2020). Obtenido de <https://www.portafolio.co/negocios/empresas/por-la-pandemia-hidroituango-entraria-en-operacion-en-2022-541728>

Rodriguez Becerra, D. (Diciembre de 2002). *IDEAM*. Obtenido de <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/019857/GestionambientalenA.L.yelC/GestionAmb..pdf>

Rodriguez Diaz, C. L. (16 de Mayo de 2012). *Escuela de Organización Industrial* . Obtenido de <https://www.eoi.es/blogs/migmamad/evaluacion-historica-de-la-eia/>

Rodríguez y Espinoza, M. (12 de 2002). *Gestión Ambiental en América Latina y el Caribe* . Obtenido de <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/019857/GestionambientalenA.L.yelC/GestionAmb..pdf>

System, E. O. (s.f). *Earth Observing System Listening to the pulse of the planet* . Obtenido de <https://eos.com/landsat-8/es/>

Ulloa, L. D. (20 de 04 de 2015, p.4). *Diagnóstico, diseño, monitoreo y evaluación de*. Obtenido de <http://www.udlaquito.com/app/inclusion/wp-content/uploads/2016/04/Instructivo-Diagnostico-disen%CC%83o-monitoreo-y-evaluacion-de-proyectos-de-desarrollo-social.pdf>

UNAM. (2017, p.1). *Universidad Nacional Autónoma de México*. Obtenido de <http://www.economia.unam.mx/secss/docs/tesisfe/GomezAM/cap2a.pdf>

USGC. (s.f). *Servicio Geológico de los Estados Unidos*. Obtenido de [https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-8?qt-science\\_support\\_page\\_related\\_con=0#qt-science\\_support\\_page\\_related\\_con](https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-8?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con)

Valverde, L. (11 de 02 de 2014). Obtenido de Henares: <http://empresariosdelhenares.es/art/1000/los-programas-comunitarios-de-medio-ambiente-y-su-influencia-en-las-leyes-espanolas>