



Análisis de restricciones ambientales para la instalación de un gasoducto en la zona de Ciénaga – Magdalena a partir del uso de herramientas SIG.

MARIA ALEJANDRA TOBÓN MARTÍNEZ

MABEL DANIELA ORTÍZ GARZÓN

Universidad Antonio Nariño

Especialización en Sistemas de Información Geográfica.

Facultad de Ingeniería Ambiental

Bogotá D.C, Colombia

2022

Análisis de restricciones ambientales para la instalación de un gasoducto en la zona de Ciénaga – Magdalena a partir del uso de herramientas SIG.

MARIA ALEJANDRA TOBÓN MARTÍNEZ

MABEL DANIELA ORTIZ GARZÓN

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

Especialista en sistemas de Información Geográfica.

Director:

Doctor. Andrés Felipe Carvajal Vanegas

Línea de investigación

Análisis ambientales basados en procesos con modelos SIG.

Universidad Antonio Nariño

Programa especialización en sistemas de información geográfica

Facultad de Ingeniería ambiental y civil

Bogotá D.C., Colombia

2022

Contenido

| | |
|--|-----------|
| Resumen..... | 7 |
| Abstrac..... | 8 |
| Introducción | 9 |
| Objetivos..... | 12 |
| 1.1 Objetivo General | 12 |
| 1.2 Objetivos Específicos..... | 12 |
| Marco teórico | 12 |
| Metodología..... | 21 |
| Resultados..... | 27 |
| Discusion..... | 36 |
| Conclusiones | 38 |
| Referencias Bibliográficas..... | 40 |

Lista de Figuras

| | | |
|------------------|--|-----------|
| Figura 1. | Modelo Análisis de Restricciones | 25 |
| Figura 2. | Mapa Criticidad Biótica. | 27 |
| Figura 3. | Mapa Criticidad Abiótica..... | 28 |
| Figura 4. | Mapa Criticidad Socioeconómica..... | 29 |
| Figura 5. | Mapa Ruta Optima Trazado de Gasoducto. | 30 |

Lista de Tablas

| | | |
|-----------------|---|-----------|
| Tabla 1. | Símbolos. | 3 |
| Tabla 2. | Lista de Abreviaturas. | 3 |
| Tabla 3. | Marco normativo ambiental | 17 |
| Tabla 4. | Análisis de criticidades para el componente biótico. | 21 |
| Tabla 5. | Análisis de criticidades para el componente abiótico. | 22 |
| Tabla 6. | Análisis de criticidades para el componente socioeconómico. | 24 |
| Tabla 7. | Bosque Seco Tropical..... | 31 |
| Tabla 8. | Coberturas..... | 31 |

| | | |
|------------------|--|-----------|
| Tabla 9. | Cuerpos de agua..... | 34 |
| Tabla 10. | Amenaza por remoción en masa..... | 35 |

Tabla 1. Símbolos.

| Símbolo | Término | Unidad SI |
|---------|---------|-----------|
| A | Área | Ha |

Nota. Elaboración propia

Tabla 2. Lista de Abreviaturas.

| Abreviatura | Término |
|-------------|--|
| ARAS | Análisis de Restricciones Ambientales |
| IDEAM | Instituto de Estudios Ambientales y Meteorológicos |
| SIG | Sistema de Información Geográfica |

Nota. Elaboración propia.

Dedicatoria

A nuestros padres, por todos los sacrificios que han hecho por nosotras, por lo más importante que sembraron en nosotras que es la educación en todos los sentidos, al amor de nuestras parejas que siempre nos apoyan en cada paso.

Agradecimientos

Agradezco al IDEAM por brindarnos la base de información para el desarrollo de nuestra investigación, agradecemos a las empresas del sector privado como servicios ambientales y geográficos SAG, especialmente al coordinador del área SIG Juan Pablo Hernández y a la directora del área SIG Catalina Barrera, quien nos instruye en todas las metodologías para realizar estudios como estos.

Resumen

La ubicación y construcción de un gasoducto en la zona de Ciénaga – Magdalena, es una decisión que se toma basada en un Análisis de Restricciones Ambientales – ARAS, en la cual la columna vertebral del proceso es los modelos desarrollados por los sistemas de información geográfica, modelos que se basan en capas de información espacial aportada por entidades oficiales como el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, el modelo que se desarrolla en el proceso es una sumatoria de capas con pesos ponderados para cada Pixel, los cuales arrojan zonas con categorías de criticidad, para luego poder modelar el trazado óptimo teniendo en cuenta estas categorías y así finalmente obtener la ubicación óptima en la cual el componente ambiental es determinante.

Para las rutas propuestas en este estudio, la metodología que ejecutamos fue por medio de análisis de capas vector las cuales les dimos un peso ponderado según su nivel de criticidad, luego se convierten a ráster para poder realizar un análisis de pixel a pixel y finalmente realizamos una sumatoria de los valores asignados a cada pixel por medio de herramienta “Cell Statistics” en el software ArcGIS, obteniendo una capa raster resultante la cual nos será útil para generar la ruta óptima con la herramienta “Cost Path” en el mismo software mencionado anteriormente.

Abstract

The location and construction of a gas pipeline in the Ciénaga - Magdalena area is a decision made based on an Analysis of Environmental Restrictions - ARAS, in which the backbone of the process is the models developed by geographic information systems, models that are based on layers of spatial information provided by official entities such as the Institute of Hydrology, Meteorology and Environmental Studies - IDEAM, the model that is developed in the process is a sum of layers with weighted weights for each Pixel, which yield zones with criticality categories, in order to later be able to model the optimal layout taking into account these categories and thus finally obtain the optimal location in which the environmental component is decisive.

For the routes proposed in this study, the methodology that we executed was through analysis of vector layers, which we gave them a weighted weight according to their level of criticality, then they were converted to raster to be able to carry out a pixel-to-pixel analysis and finally we carried out a sum of the values assigned to each pixel by means of the "Cell Statistics" tool in the ArcGIS software, obtaining a resulting raster layer which will be useful for generating the optimal route with the "Cost Path" tool in the same software mentioned above.

Introducción

Al abordar el tema de los combustibles fósiles se hace pertinente señalar que corresponden a un grupo conformado por sustancias como el petróleo, el carbón y el gas natural, los cuales, a su vez, son indispensables para el abastecimiento de la demanda energética a nivel global. Ahora bien, referirse a la mezcla de hidrocarburos gaseosos ligeros es tener que ver con lo que comúnmente se conoce como gas natural, utilizado no solamente en la elaboración de diversos productos como el plástico, la pintura, las bolsas de la basura y el amoniaco entre otros, sino, como combustible tanto en los escenarios domésticos como industriales, de igual manera, de esta mezcla también son obtenidos derivados líquidos como el etano, gas licuado del petróleo o gas propano y bencina industrial (Latorre, 1996; Rice, 2017).

La humanidad se enfrenta hoy al mayor reto de su historia: conservar el medio ambiente y asegurar la supervivencia de la especie. En este desafío, el sector de los hidrocarburos tiene un papel protagónico, dado que las emisiones por la quema de combustibles fósiles tienen responsabilidad en el calentamiento global. De ahí que hoy el mundo se encuentre en plena carrera para reemplazar el uso de los derivados del petróleo, implementando en mayor parte el consumo de gas como combustible para diversas actividades (gasnova, 2020).

Según Corredor (2018), el 85.5% del gasto energético global, se encuentra sustentado en los combustibles fósiles como el petróleo, gas natural y el carbón, los cuales son calificados como productores de energía primaria puesto que provienen de fuentes halladas de forma directa en la naturaleza, no obstante, Chahín et al. (2020), señalaron que frente a la

oferta y demanda del Gas Natural, existe la probabilidad de que en Colombia haya una crisis por el déficit frente al suministro de este hidrocarburo en los próximos diez años.

Para dar un contexto nacional, desde el año 2021, las empresas que transportan gas natural en Colombia, como por ejemplo Transportadora de Gas Internacional – TGI y Promigas han manifestado un interés en satisfacer la demanda que se tiene de gas natural en Colombia, según (Urrego, 2021) es necesaria la ampliación de varios tramos de gasoductos existentes actualmente para satisfacer estas necesidades, es por ello, que en esta tesis no centraremos en la ampliación de un tramo que inicia en el municipio de Bonda – Magdalena y termina en Palermo – Magdalena, la operación de ampliación será responsabilidad de la empresa Promigas y el proyecto tendrá el nombre “la Variante Santa Marta – Pueblo Viejo del gasoducto Troncal Ballenas – Barranquilla”.

La principal problemática que presenta este gasoducto por el cual requiere la construcción de una variante es la expansión urbana de Santa Marta (Jafithmo, 2016), Ciénaga y Pueblo viejo en el departamento de Magdalena lo cual representa un riesgo muy alto para la población.

La presente tesis rebela que Para lograr la construcción del nuevo tramo del gasoducto, es necesario realizar un Análisis de Restricciones Ambientales, análisis que requiere la implementación de técnicas de sensores remotos y cartografía que nos permite evaluar las posibilidades y tomar decisiones acertadas en cuanto al trazado del gasoducto objeto de estudio, de esta manera las capas geográficas vectoriales a escala 100.000 que tendremos en cuenta para generar el modelo pertenecerán a componentes Biótico, Abiótico y Socioeconómico.

La modelación de todas estas capas de información permitió realizar análisis de proximidad a las restricciones ambientales, lo cual permitió obtener los trazados óptimos para la construcción del proyecto.

Para dar contexto de los antecedentes del proyecto en noviembre de 2016, según (Jafithmo, 2016) se presentaron seis alternativas por parte de la empresa Promigas, en una reunión que sostuvieron con la Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca - AUNAP, reunión que tuvo por objeto realizar un Diagnóstico de Alternativas Ambientales para solicitar la licencia ambiental, requerimiento obligatorio por la Agencia de Licencias Ambientales – ANLA.

De las seis alternativas presentadas, cuatro son mixtas (Mar y Tierra) y Dos son terrestres, de estas alternativas se hizo una observación para una de las mixtas, ya que incide en la operación portuaria y los ecosistemas de arrecife, por lo cual en la presente tesis decidimos no presentar alternativas que involucren el mar, es decir, solo presentaremos alternativas terrestres.

Para las rutas propuestas que presentaremos en esta tesis, la metodología que ejecutamos fue por medio de análisis de capas vector las cuales les dimos un peso ponderado según su nivel de criticidad, luego se convierten a ráster para poder realizar un análisis de pixel a pixel y finalmente realizamos una sumatoria de los valores asignados a cada pixel por medio de herramienta “Cell Statistics” en el software ArcGIS, obteniendo una capa raster resultante la cual nos será útil para generar la ruta optima con la herramienta “Cost Path” en el mismo software mencionado anteriormente.

Objetivos

1.1 Objetivo General

Determinar mediante un análisis de restricciones ambientales – ARAS, la ruta óptima para la instalación de un gasoducto en la zona de ciénaga - Magdalena.

1.2 Objetivos Específicos

- Establecer los criterios bióticos, abióticos y socioeconómicos para el análisis de las restricciones ambientales – ARAS.
- Definir las áreas restringidas de la zona de Ciénaga – Magdalena, para la instalación del gasoducto.
- Elaborar un modelo que defina la ruta óptima teniendo en cuenta el análisis de las restricciones ambientales – ARAS.
- Proponer el trazado para la instalación de la línea de gasoducto en la zona de la ciénaga – Magdalena.

Marco teórico

Los EIA se desarrollaron por primera vez en la década de los 70's en los Estados Unidos y posterior a esto en los países europeos, en donde los EIA se relacionaron con la divulgación de información pública para la toma de decisiones ambientales, pues el EIA se utiliza como un instrumento fundamental para implementar las consideraciones ambientales en los nuevos proyectos y planes económicos. Así mismo los EIA son usados para tomar decisiones democráticas sobre futuros proyectos ambientales, un ejemplo de

esto es la participación de comunidades locales para la toma de decisiones en etapas tempranas de los proyectos para que estos aporten conocimiento esencial a nivel científico y local y poder así generar un intercambio de conocimiento ambiental, es así como el EIA se convierte en un canal de información para lograr una apropiación tanto individual como grupal de conocimiento (Zhu et al 2015).

Los estudios de impacto ambiental o EIA están presentes en la mayoría de países que son Industrializados o se encuentran en dicho proceso de industrialización, utilizan las licencias o permisos ambientales, los estándares de emisión y las evaluaciones de impacto ambiental EIA como un método de regulación para los nuevos proyectos de inversión industrial, para de este modo poder regular las emisiones de industrias que contribuyen a la contaminación del medio ambiente y de esta forma poder sancionar a dichas empresas que no cumplan los requisitos establecidos para las emisiones ya que de lo contrario se podría presentar la pérdida de la licencia (Zhu et al. 2015).

Cuando se diseñan EIA para el diseño de gasoductos se deben considerar los posibles impactos ambientales que se puedan generar ya que en zonas urbanizadas los impactos ambientales son diferentes a los generados en zonas suburbanas o zonas mixtas en donde los principales impactos que podemos encontrar son exceso de ruido y vibración debido al uso de maquinaria pesada para la remoción de tierra y el transporte de materiales, la emisión de material particulado y polvo debido a la excavación y movimiento de tierra, generación de tierras desnudas , erosión del suelo debido a las zonas excavadas (WORLD BANK GROUP, SF). A fin de lograr mitigar estos impactos ambientales se genera una compensación realizando actividades de reforestación o por medio de apoyo económico a zonas protegidas logrando así que la compensación sea tanto en la parte biótica como social con ayuda de diversos profesionales que participan en la elaboración del EIA.

En el siguiente caso se evidencia que el EIA presentado por Transit gas Nigeria Limited para la construcción de un gasoducto de gas natural en donde se reconoce la importancia de realizar una oportuna planificación y gestión medio ambiental y social, realizando estudios para entender las necesidades ambientales y sociales en el municipio de Osasa y todas las zonas por las que esta compuesta el proyecto en Ogun en donde por medio del EIA se suministra la información dentro del área de influencia del proyecto correspondiente a las condiciones sociales y ambientales, identificando así los componentes sensibles del ambiente que estén presentes dentro del área de influencia del proyecto, así mismo evalúa todas las actividades que se realizaran dentro del proyecto a fin de poder determinar todos los posibles impactos ambientales negativos y finalmente el EIA presenta recomendaciones y posibles alternativas para remediar o mitigar dichos impactos ambientales negativos por medio de la elaboración de un plan de manejo ambiental y social (Transit Gas Nigeria Limited, 2020). Cumpliendo así con las leyes establecidas por la constitución de la República Federal de Nigeria.

La construcción de Gasoductos de extiende por todo el mundo Irán es otro claro ejemplo de esto pues en Irán existen mas de 22 mil kilómetros de gasoductos y oleoductos construidos ya que este país es el tercer país que mas consume gas natural en el mundo solo estando por detrás de Estados Unidos y Rusia. Irán es uno de los países que tiene potencial para suministrar gas natural a otras partes del mundo, la construcción de gasoductos es el futuro ya que este es el método mas eficiente y más económico para transportar gas de un lugar a otro sin embargo este desarrollo de gasoductos debe estar acompañados de EIAs que ayuden a planificar, el desarrollo de los mismos además de mitigar los impactos ambientales negativos, proponer planes de gestión ambiental (Karimi et al, 2014).

El descubrimiento de nuevos yacimientos de gas en la costa de África el gobierno africano ha decidido incentivar políticas y proyectos para lograr la penetración de extracción de gas en la economía energética de Sudáfrica. El gobierno de este país ha considerado la implementación de un programa de gas licuado para la generación de energía en donde se busca crear un gran proyecto que logre estimular el crecimiento del sector productor de gas (Oberholzer, 2020).

El estudio adelantado por Sanint y Sanín (2010) en Colombia, tuvo por objetivo desarrollar un método que permitiera determinar las restricciones y posibilidades ambientales en proyectos de transporte de gas natural por ductos, basándose en la utilización de instrumentos de análisis territorial aplicados sobre la plataforma del Sistema de Información Geográfica (SIG), para ello fueron incorporadas pautas de evaluación ambiental a escala 500.000, permitiendo la toma de decisiones para el transporte del gas natural en Colombia.

Para lograr esto, seleccionaron las variables y factores que complementaron el modelo analítico y se definieron los criterios a implementar de acuerdo con la opinión de expertos de diversos componentes como el abiótico, biótico y socioeconómico, los cuales les ayudaron a definir las criticidades ambientales para cada uno. El fin de realizar este análisis de restricciones ambientales, es poder proceder luego con un Estudio de Impacto Ambiental - EIA favorable ante las autoridades ambientales nacionales. El EIA nace en Estados Unidos, cuando se decretó la ley de política nacional del medio ambiente de 1969, y posteriormente otros países lo adoptaron con diversos requisitos.

Al transcurrir el tiempo, las organizaciones internacionales de crédito comenzaron a pedir como requisito a los países solicitantes la implementación de estudios o análisis

ambientales, al punto que este comportamiento terminó produciendo en 1992 la conferencia de las Naciones Unidas sobre el medio ambiente en Río de Janeiro (Sanint y Sanín, 2010).

Según el Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería de Perú (Osinermin, 2021), a partir del siglo XXI, el gas natural ha venido llevando a cabo una tarea importante con relación a la transición energética dada hacia fuentes más sustentables, por ello, el incremento tanto en la producción, como en el consumo de este hidrocarburo, coadyuva a modificar el mecanismo del uso de los combustibles fósiles líquidos por uno que tenga una contaminación menor. De igual manera, el aumento en la demanda ha favorecido la dinamización de la oferta y el consumo en el mercado, produciendo por consiguiente efectos positivos, pues según el informe brindado por el Banco Interamericano de Desarrollo, (BID, 2021), los precios del gas natural han reducido de manera significativa la medida por unidad de energía, presentándose de manera más estable que los precios del petróleo.

Cuando se realiza una planeación para realizar una actividad económica sobre un ecosistema se deben tener en cuenta que las restricciones ambientales deben incluir un grupo de zonas de protección para la conservación de aguas superficiales, subterráneas, líneas eléctricas y gasoductos (Ivanov et al, 2022).

Rangel y Portilla (2016), llevaron a cabo una investigación con la finalidad de analizar el proceso de sustitución y del aprovechamiento de los combustibles pesados por el gas natural por parte de grandes y medianas empresas localizadas en el Valle del Cauca y Norte del Cauca – Colombia, durante el periodo comprendido entre el 2004 – 2012, bajo un modelo Probit de efectos aleatorios en Panel, se llevó la estimación de la propensión de estas empresas a sustituir otros tipos de combustibles por el uso continuo de gas natural, dentro de los resultados obtenidos, se pudo evidenciar que debido al bajo costo de esta

sustancia, las empresas consultadas señalan de manera determinante su conversión durante los procesos que llevan al gas natural, pues este garantiza un bajo costo económico y lo más importante, es un combustible que cuenta con un bajo nivel de emisiones contaminantes, sustituyendo de esta manera a los combustibles pesados y al carbón.

Hoy en día, el gas natural es considerado como una de las principales fuentes de energía, llevando a convertir de esta manera, a los gasoductos en actores esenciales dentro de este proceso, pues su infraestructura es la encargada de transportar el hidrocarburo por tuberías a lo largo de extensas distancias, situación que ciertamente puede llegar a generar un impacto ambiental desfavorable si no son tomadas en cuenta alternativas sustentables que minimicen los efectos perjudiciales que puedan generarse durante su instalación y posterior funcionamiento; de esta manera, llevar a cabo una evaluación de riesgos es la manera oportuna que permite la identificación, clasificación y cuantificación de amenazas derivadas de la operacionalización de un gasoducto (García, 2015).

Para el análisis se requiere tener clara la normativa ambiental en el contexto nacional, lo que puede ser observado en la Tabla 3 en donde se lleva a cabo la presentación de dicho marco normativo.

Tabla 3. Marco normativo ambiental

| Entidad | Normativa | Artículos y Resolución |
|---------|-----------|---|
| | | Artículo 8. Señala la obligatoriedad del Estado, así como de las personas en general de proteger tanto las riquezas culturales como naturales de la nación. |

| Entidad | Normativa | Artículos y Resolución |
|-------------------------------|--|--|
| | Constitución de Colombia – 1991 | <p>Artículo 79. Señala que todas las personas cuentan con el derecho de gozar de un medio ambiente sano, por lo tanto, la Ley debe garantizar la participación de la/las comunidades en las decisiones que puedan llegar a afectar dicho principio. Además precisa que el Estado debe proteger la diversidad del medio ambiente, por lo que está en el deber de cuidar que sean conservadas las áreas de especial relevancia ecológicas, por lo que debe promover la educación para que se cumplan estos objetivos.</p> <p>Artículo 80. Refiere que el Estado es el encargado de actuar como garante en la planificación, manejo y aprovechamiento de los recursos naturales del país, garantizando la conservación y restauración del medio ambiente, por lo tanto, se le exige contar con mecanismos de vigilancia capaces de identificar y controlar factores que puedan llegar a ocasionar el deterioro ambiental; además, debe imponer sanciones y exigir la reparación frente a los daños causados a los diferentes ecosistemas y comunidades afectadas.</p> |
| Ministerio del Medio Ambiente | Resolución 1602 de 21 de diciembre de 1995 | Encargada de dictar las medidas que garantizan la sostenibilidad de los manglares en el país (Colombia). |

Nota. Los datos encontrados en la Tabla permiten una óptica más amplia acerca de las Leyes que amparan la protección de las personas y el medio ambiente.

Este tipo de proyectos son de suma importancia para el desarrollo social y económico de un país o una región un claro ejemplo de esto es el proyecto de estudio de impacto ambiental presentado para el proyecto de gasoducto entre Argelia y España, el cual cruza el

mar mediterráneo. Esto debido a que en España existe un fuerte desequilibrio entre las capacidades de producción de gas natural y gas natural líquido y el consumo de este. Es por esto que la infraestructura que se tiene aprobada para los próximos años está relacionada con la ampliación de las plantas existentes de regasificación y la construcción de al menos tres plantas nuevas (MEDGAZ, 2004). Este nuevo gasoducto alimenta el sureste de España, pasando por las provincias de Almería, Murcia y Albacete, conectándose finalmente con la red de gas española logrando así optimizar el desarrollo de la red de transporte y distribución de gas, ya que este gasoducto es un enlace directo entre la red de gas de España y los nacimientos de este que están presentes en Argelia el cual tiene grandes reservas de gas, siendo el cuarto país productor de gas a nivel mundial.

Con este proyecto se logran beneficios económicos pues el transporte por barco de gas natural es casi el doble que el costo de transportarlo por oleoducto, ya que la dependencia energética de Europa en la importación de gas natural y otros hidrocarburos es casi absoluta, además se prevé que con el tiempo aumentará dicha dependencia y se requerirá la construcción de nuevas líneas con mayor demanda (MEDGAZ, 2004).

La construcción de Oleoductos y Gasoductos son de suma importancia ya que por ejemplo los oleoductos y gasoductos submarinos son utilizados para el transporte de hidrocarburos como el petróleo, el gas o agua, logrando así suministrar estos recursos a islas o lugares apartados en donde el transporte por barco sería sumamente costoso, sin embargo, el método de construcción de dichos gasoductos u oleoductos también es fundamental ya que se debe buscar generar un mínimo impacto ambiental a la fauna circundante en donde las técnicas de construcción empleadas son:

- Laybarge el cual utiliza tuberías en aguas marinas profundas cerca a costas logrando así ser menos susceptible a ruptura por olas, además siendo de rápida construcción
- Remolque en donde se aplica en la construcción de tuberías con grandes diámetros, las cuales por lo general son muy pesadas y están agrupadas o son estructuralmente complejas, siendo ideal este método en tuberías que estén ubicadas cerca a las costas y su operación mecánicas es riesgosa
- Perforación direccional horizontal es ideal para lugares con enrutamiento con condiciones marinas severas y se presente una dificultad para diseñar zanjas para colocar tuberías debido a las condiciones del lecho marino.
- Túnel de escudo el cual es colocado por debajo del lecho marino lo cual lograra evitar una contaminación del agua del mar logrando así ser un método de construcción amigable con el medio ambiente. Este túnel de escudo se aplica generalmente a formaciones de arena, suelo o roca
- Tunelización de minas en donde se excava un túnel con perforación en donde se proyecta hormigón, este método se puede combinar con el método de escudo

Estos métodos de construcción de oleoductos y gasoductos generan impactos ambientales desfavorables en el medio marino siendo los métodos de remolque y Laybarge los que representan un mayor impacto ya que requieren de una modificación en el lecho marino, sin embargo, los otros métodos muestran un impacto mínimo para el ecosistema oceánico (Ouyang et al, 2018).

Metodología

El trazado del gasoducto será apoyado en herramientas dadas en el Sistema de Información Geográfica (SIG) procediendo de la siguiente manera:

Se llevará a cabo el alistamiento de las capas geográficas usadas en el análisis con herramientas SIG, así como sus criticidades (nivel de importancia), el cual va de 1 a 6, donde 1 es nivel de criticidad bajo y 6 es muy alto o excluyente.

Tabla 4. Análisis de criticidades para el componente biótico.

| <i>Componente</i> | <i>Insumos</i> | <i>Criticidad</i> | <i>Escala de la capa</i> |
|-------------------|---|-------------------|--------------------------|
| <i>Biótico</i> | | | |
| | POMCAS | 3 | 25.000 |
| | Coberturas de la tierra | 3 | 25.000 |
| | Ecosistemas | 3 | 100.000 |
| | Arrecifes | 6 | 100.000 |
| | Nacimientos cuerpos de agua | 6 | 25.000 |
| | Retiros de drenajes | 4 | 25.000 |
| | AICAS | 3 | 100.000 |
| | Áreas prioritarias para la conservación | 3 | 100.000 |
| | Áreas de protección del Caribe | 6 | 100.000 |
| | Bosque seco tropical | 6 | 100.000 |
| | Ecosistemas acuáticos | 3 | 100.000 |
| | Humedales RAMSAR | 4 | 100.000 |
| | Reserva de la biosfera | 6 | 100.000 |
| | Reservas naturales | 6 | 100.000 |
| | RUNAP PNN | 6 | 100.000 |

| | | |
|--|---|---------|
| Ley segunda de sustracciones definitivas | 6 | 100.000 |
| Zonificación del jaguar | 6 | 100.000 |
| Zonificación de la reserva forestal ley segunda | 6 | 100.000 |
| Humedales 2012 | 3 | 100.000 |
| Zonificación plan de manejo parques nacionales naturales | 6 | 100.000 |
| Suelo de protección POT | 6 | 25.000 |
| Zonas de vida Manglar | 3 | 100.000 |
| Suelos | 6 | 100.000 |

Nota. Elaboración propia.

Tabla 5. Análisis de criticidades para el componente abiótico.

| <i>Componente</i> | <i>Insumos</i> | <i>Criticidad</i> | <i>Escala de la capa</i> |
|-------------------|---------------------------------|-------------------|--------------------------|
| <i>Abiótico</i> | | | |
| | Amenazas por inundación | 3 | 100.000 |
| | Zonas susceptibles a inundación | 3 | 100.000 |
| | Inundación de la Niña 2010 | 6 | 100.000 |
| | Inundación de la Niña 1988 | 6 | 100.000 |
| | Inundación de la Niña 2000 | 6 | 100.000 |
| | Inundación de la Niña 2011 | 4 | 100.000 |
| | Inundación de la Niña 2012 | 6 | 100.000 |
| | Inundación Zona Costera 2040 | 6 | 100.000 |

| | | |
|---|---|---------|
| inundación zona costera 207'0 | 6 | 100.000 |
| Inundación zona costera 2100 | 6 | 100.000 |
| Inundaciones | 3 | 100.000 |
| Vulnerabilidad ambiental | 4 | 100.000 |
| Inundaciones | 6 | 100.000 |
| Zonas inundables periódicamente | 6 | 100.000 |
| Geología | 6 | 100.000 |
| Geomorfología | 3 | 100.000 |
| Movimientos en masa | 6 | 100.000 |
| Fallas | 3 | 100.000 |
| Tectónica | 3 | 100.000 |
| Unidades cronoestratigráficas | 3 | 100.000 |
| Hidrogeología | 6 | 100.000 |
| Zonificación hidrográfica | 3 | 100.000 |
| Títulos mineros | 4 | 100.000 |
| Zonas de explotación de hidrocarburos | 4 | 100.000 |
| Centrales de energía | 6 | 100.000 |
| Aeropuertos | 4 | 100.000 |
| Peajes | 4 | 100.000 |
| Puentes | 4 | 100.000 |
| Antenas | 4 | 100.000 |
| Centrales de energía | 6 | 100.000 |
| Terminales Estadios | 4 | 100.000 |
| Agencia Nacional de Tierras | 5 | 100.000 |
| Zonas susceptibles a inundación | 4 | 100.000 |
| Zonas de erosión | 6 | 100.000 |
| Zonificación sísmica | 4 | 100.000 |
| Captaciones de agua superficial y subterránea | 4 | 100.000 |

| | | |
|----------------------|---|---------|
| Vertimientos de agua | 4 | 100.000 |
| Pendientes | 4 | 100.000 |

Nota. Elaboración propia.

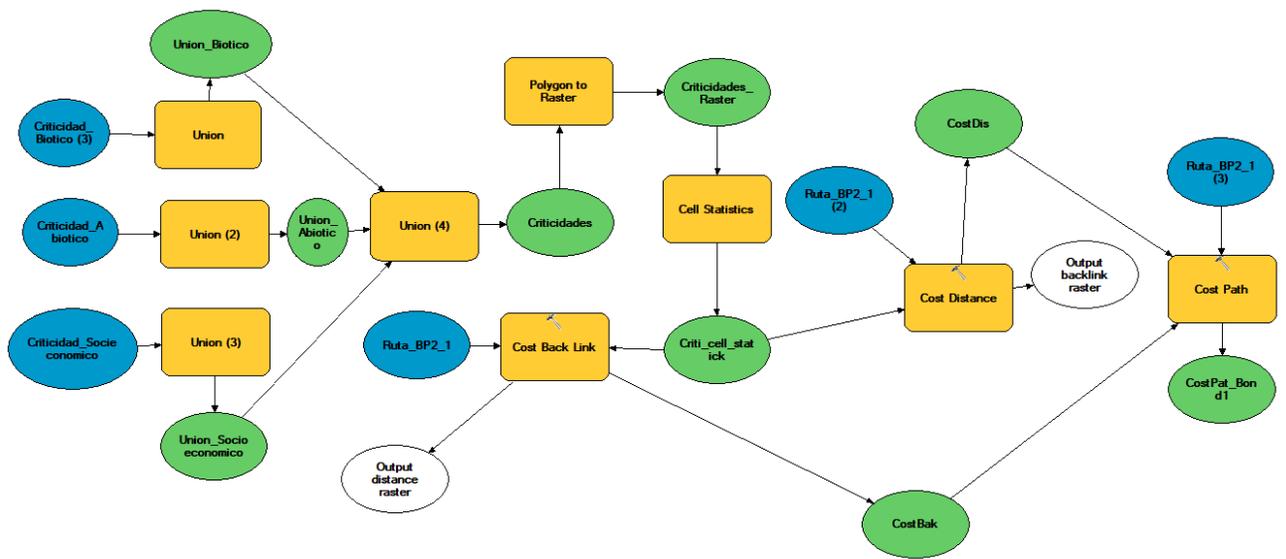
Tabla 6. Análisis de criticidades para el componente socioeconómico.

| <i>Componente socioeconómico</i> | <i>Insumos</i> | <i>Criticidad</i> | <i>Escala de la capa</i> |
|----------------------------------|-------------------------|-------------------|--------------------------|
| | Catastro | 5 | 100.000 |
| | Centros urbanos | 3 | 100.000 |
| | Comunidades negras | 5 | 100.000 |
| | Cultivos de coca | 6 | 100.000 |
| | Minas antipersona | 6 | 100.000 |
| | Línea negra | 4 | 100.000 |
| | Microzonas de la ANT. | 4 | 100.000 |
| | Macrozonas de la ANT. | 4 | 100.000 |
| | Corporaciones Autónomas | 6 | 100.000 |
| | Derecho de vía | 6 | 100.000 |
| | Resguardos indígenas | 3 | 100.000 |
| | Comunidades campesinas | 4 | 100.000 |

Nota. Elaboración propia.

Una vez se definen las capas espaciales y sus criticidades, se realiza una clasificación por máximos en Phyton para posteriormente elaborar el modelo mediante herramientas de geoprocésamiento en el software ArcGIS, ver Figura 1.

Figura 1. Modelo Análisis de Restricciones



Nota. Elaboración propia.

Resultados

Como resultado del modelo de geoprocresamiento para el trazado optimo del gasoducto, se elaboró representaciones graficas de mapas, los cuales permiten resumir y visualizar claramente los resultados, al igual que tablas con datos de áreas el cual permitió realizar un análisis más profundo desde cada componente.

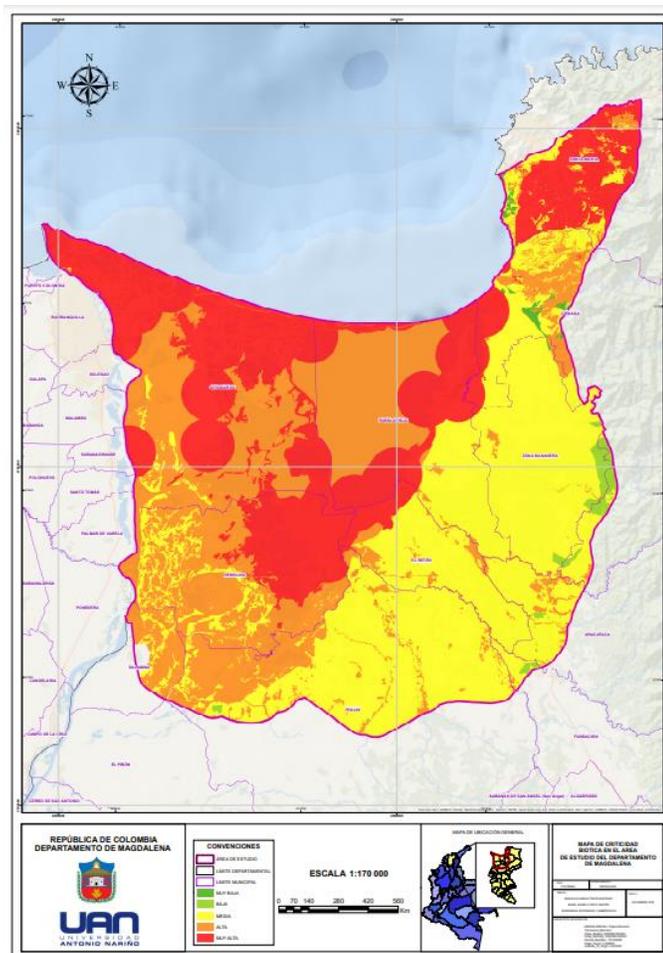


Figura 1. Criticidad Biótica.

En la figura 1. Criticidad Biótica, hace referencia al componente biótico y sus zonas valoradas de uno (1) a seis (6), en donde 1 hace referencia a las zonas menos críticas y 6 hace referencia a los sitios muy críticos, los cuales contienen ecosistemas protegidos, como reservas forestales, distritos de manejo integrado, parques nacionales naturales, manglares y por ello son de suma importancia y su calificación es seis (6).

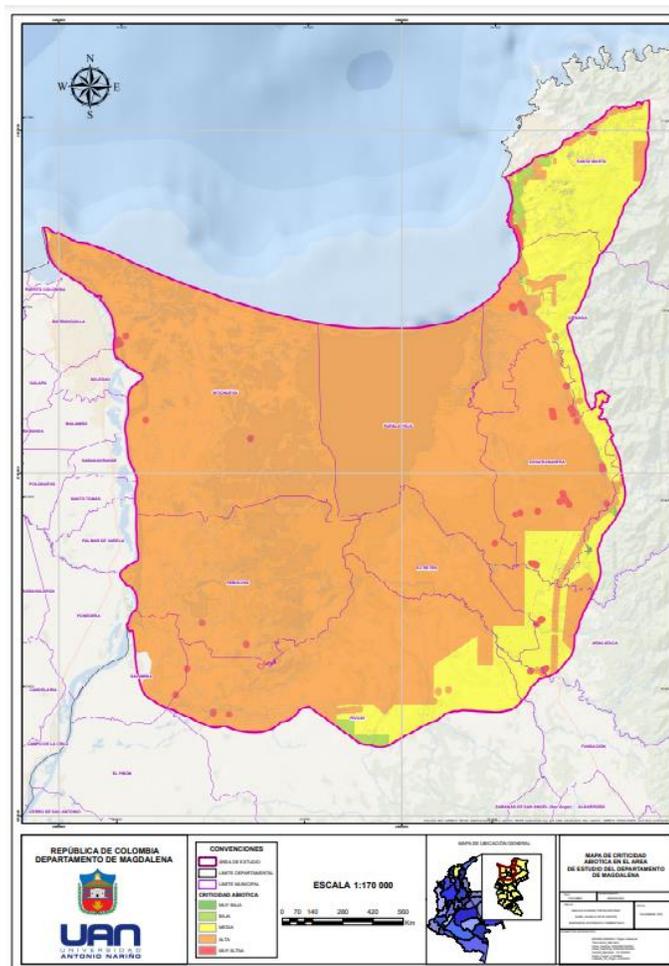


Figura 2. Criticidad Abiótica.

En la figura 2. Criticidad Abiótica, se hace referencia al resultado de la clasificación por máximos ejecutada para identificar las zonas de exclusión en el componente abiótico, calificadas con seis (6), las cuales se identifican en color rojo y hacen referencia a zonas con inundaciones y/o muy inestables según su composición geológica, geomorfológica y pendientes de alto grado.

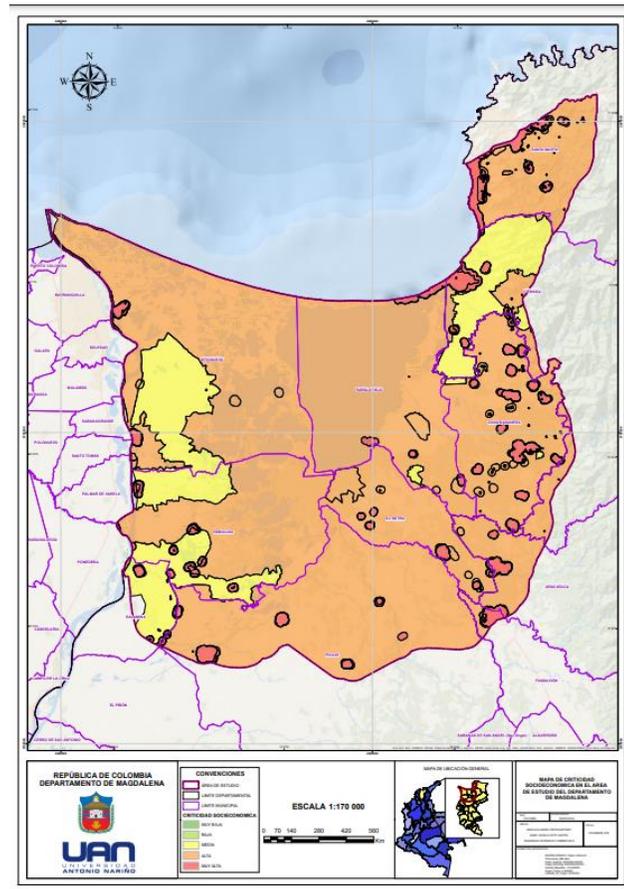


Figura 3. Criticidad Socioeconómica.

La figura 3. Criticidad Socioeconómica, hace referencia al resultado de la clasificación por máximos que se realiza a la unión entre las capas consideradas relevantes

para el componente socioeconómico, las capas consideradas críticas se identifican en color rojo, las cuales hacen referencia a centros poblados, zonas de minas antipersona, cultivos ilícitos, comunidades especiales como campesinos o negritudes y resguardos indígenas.

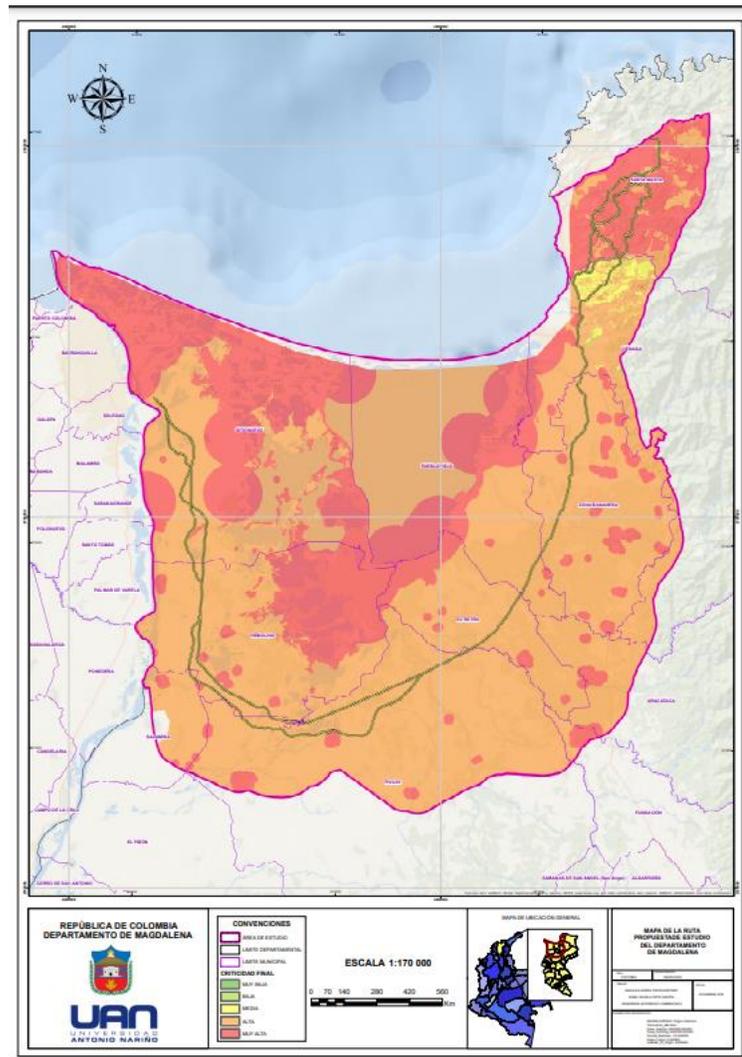


Figura 4. Ruta Optima Trazado de Gasoducto.

La figura 4. Ruta Optima Trazado del Gasoducto, representa las rutas finales que generó el modelo de geoprocésamiento, el cual también se ajustó de manera visual, teniendo

en cuenta la sumatoria de las criticidades para los tres componentes, Biótico, Abiótico y Socioeconómico. Las zonas en rojo son zonas las cuales tienen una calificación de seis (6), es decir, son zonas que se deben excluir para la construcción del gasoducto, debido a que son ecosistemas protegidos por la ley colombiana, centros poblados, zonas de minas antipersona, cultivos ilícitos, zonas de remoción en masa, zonas de aumento del nivel del mar o zonas de inundación ya sea en periodos de influencia del fenómeno climático de la niña o inundaciones periódicas.

Se generan las siguientes tablas, las cuales permiten la caracterización de los componentes más relevantes del trazado propuesto, con un buffer de 15 metros debido a sus características de gasoducto:

Tabla 7. Bosque Seco Tropical

| Ecosistema | Rutas Propuestas | |
|-----------------------------|-------------------------|---------------|
| | Ruta 1 | Ruta 2 |
| Bosque Seco Tropical | 21,23 | 22,32 |
| Total | 21,23 | 22,32 |

Nota. Elaboración propia.

Tabla 8. Coberturas

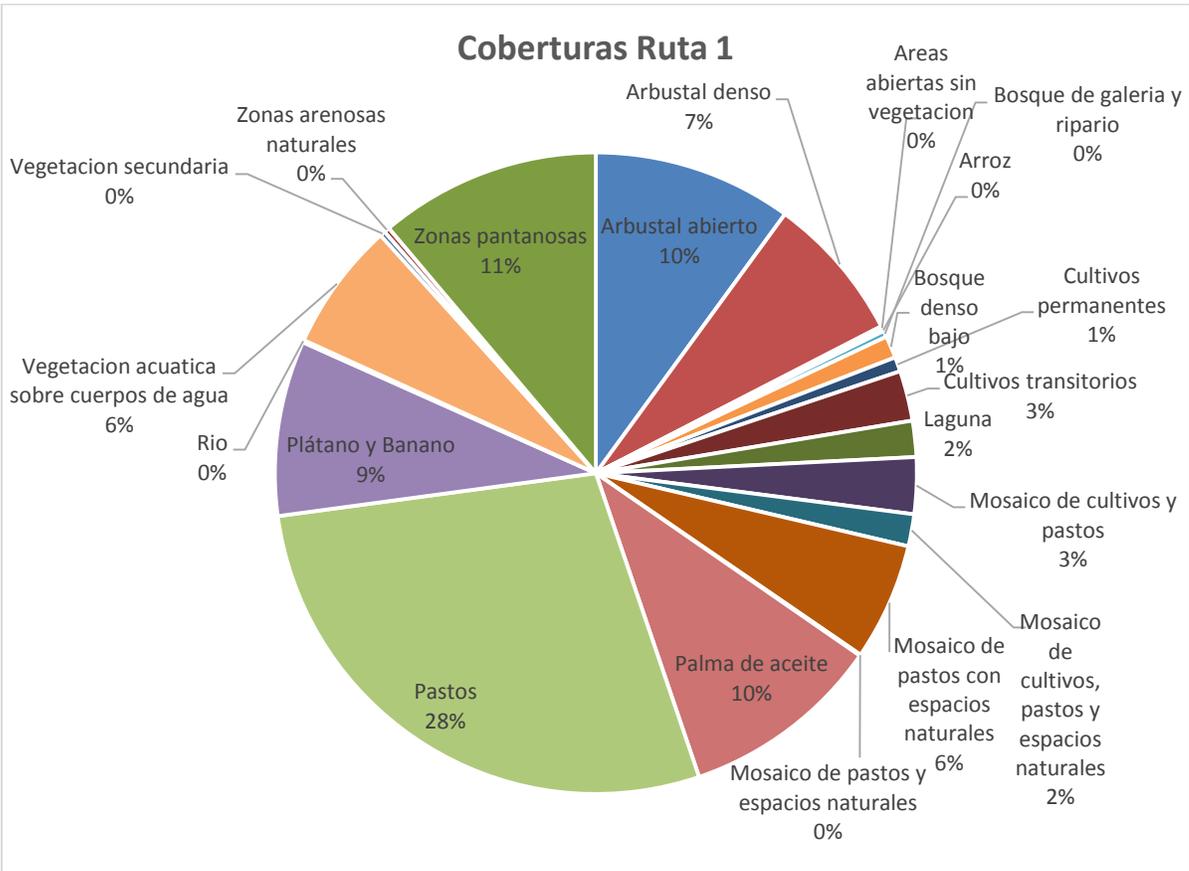
| Ruta Propuesta | Coberturas | Area Ha |
|-----------------------|-------------------------------|----------------|
| Ruta 1 | Arbustal abierto | 50,41 |
| | Arbustal denso | 37,19 |
| | Areas abiertas sin vegetación | 1,01 |
| | Arroz | 0,32 |

| | | |
|---------------|--|--------|
| | Bosque de galería y ripario | 1,56 |
| | Bosque denso bajo | 5,61 |
| | Cultivos permanentes | 3,67 |
| | Cultivos transitorios | 12,70 |
| | Laguna | 9,14 |
| | Mosaico de cultivos y pastos | 14,34 |
| | Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales | 8,11 |
| | Mosaico de pastos con espacios naturales | 29,74 |
| | Mosaico de pastos y espacios naturales | 0,29 |
| | Palma de aceite | 51,05 |
| | Pastos | 141,12 |
| | Plátano y Banano | 44,40 |
| | Rio | 0,59 |
| | vegetación acuática sobre cuerpos de agua | 32,61 |
| | vegetación secundaria | 1,33 |
| | Zonas arenosas naturales | 1,41 |
| | Zonas pantanosas | 56,08 |
| | Arbustal abierto | 35,96 |
| | Arbustal denso | 24,66 |
| | Áreas abiertas sin vegetación | 1,01 |
| | Arroz | 0,32 |
| | Bosque de galería y ripario | 1,32 |
| | Bosque denso bajo | 21,83 |
| | Cultivos permanentes | 3,67 |
| | Cultivos transitorios | 12,70 |
| | Laguna | 16,25 |
| | Mosaico de cultivos y espacios naturales | 1,03 |
| | Mosaico de cultivos y pastos | 14,87 |
| | Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales | 15,75 |
| Ruta 6 | | |

| | |
|---|--------|
| Mosaico de pastos con espacios naturales | 34,95 |
| Mosaico de pastos y espacios naturales | 0,29 |
| Palma de aceite | 51,05 |
| Pastos | 148,33 |
| Plátano y Banano | 44,40 |
| Rio | 1,38 |
| vegetación acuática sobre cuerpos de agua | 13,83 |
| vegetación secundaria | 10,30 |
| Zonas pantanosas | 67,53 |

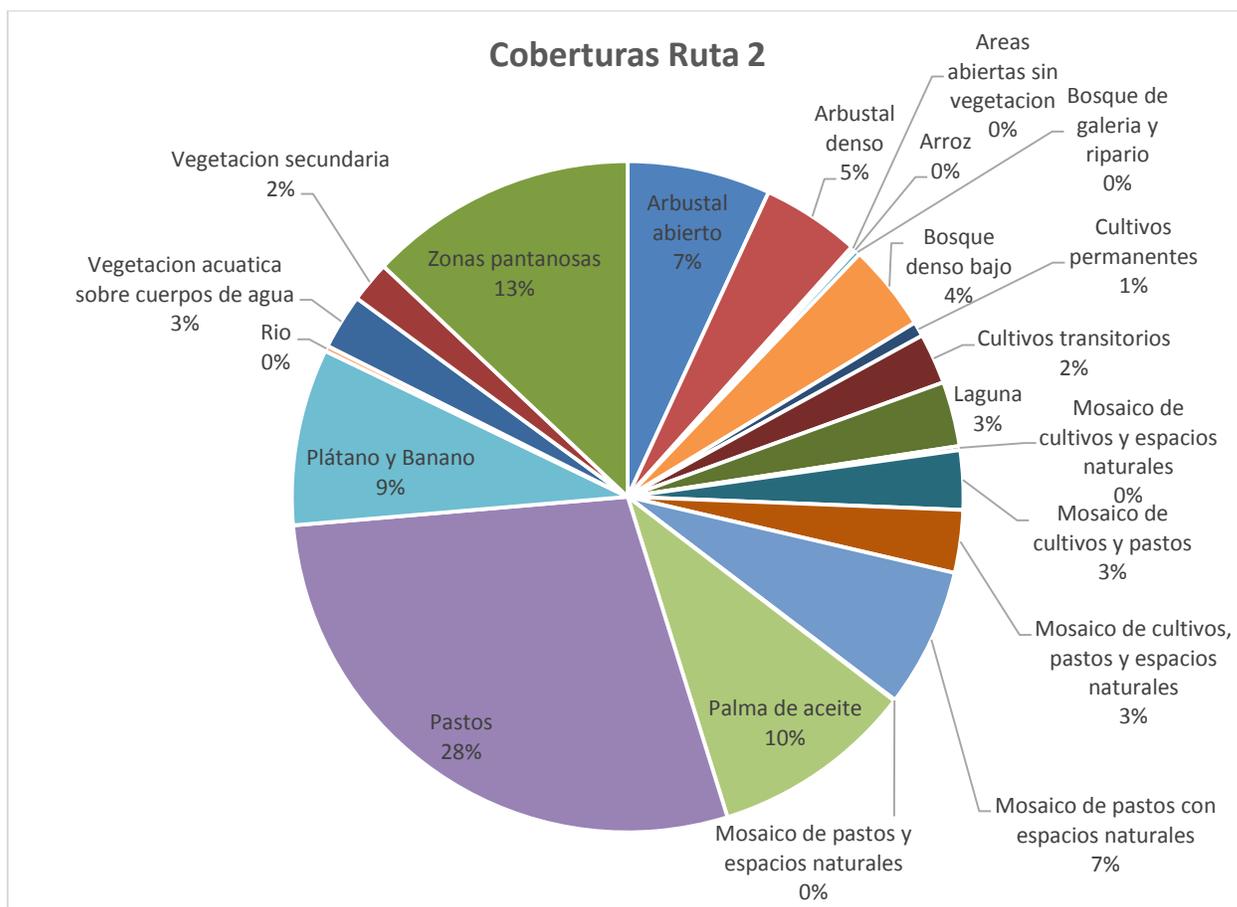
Nota. Elaboración propia.

Gráfico 1. Coberturas Ruta 1



Nota. Elaboración propia.

Gráfico 2. Coberturas Ruta 2



Nota. Elaboración propia.

Tabla 9. Cuerpos de agua.

| Nombre del drenaje | Rutas Propuestas | |
|--------------------|------------------|--------|
| | Ruta 1 | Ruta 6 |
| Cuerpos de agua | 0,25 | 0,58 |
| Caño La Concepción | | 0,12 |
| Caño Salado | | 0,22 |

| | | |
|---------------------|-------------|-------------|
| Quebrada de Mateo o | | |
| Agua Coca | 0,04 | 0,04 |
| Quebrada La Aguja | 0,03 | 0,03 |
| Río Córdoba | 0,07 | 0,07 |
| Río Fundación | 0,05 | 0,05 |
| Río Sevilla | 0,04 | 0,04 |
| Río Toribío | 0,03 | 0,03 |
| Total | 0,50 | 1,17 |

Tabla 10. Amenaza por remoción en masa

| Amenaza por Remoción en Masa | Rutas Propuestas | |
|------------------------------------|-------------------|-------------------|
| | Ruta 1 | Ruta 2 |
| Baja | 110,01 | 107,73 |
| Media | 562,80 | 586,21 |
| Total general | 672,810212 | 693,942482 |

Nota. Elaboración propia.

Discussion

Entre las dos rutas propuestas, encontramos que la ruta optima la cual genera un menor impacto en los ecosistemas importantes y que además se adecua a los factores de mínimo riesgo la mejor opción es la ruta 1, debido a que es la que presenta un área menor en cuanto a sectores con remoción en masa como se puede evidenciar en la Tabla 11 Amenaza por remoción en masa, adicional si observamos la tabla 10 de cuerpos de agua la ruta 1 es la que menor cantidad de cuerpos de agua ocupa, por lo cual implicaría un menor impacto en dichos ecosistemas y una menor cantidad de procedimientos respecto al licenciamiento ambiental, respecto a las coberturas de la tierra se debe tener en cuenta varios aspectos, tanto económicos como ambientales, por ello la mejor ruta es la opción 1 debido que presenta un 2% menos de zonas pantanosas respecto a la opción 2, al igual que cuerpos de agua, lo cual beneficia al proyecto alejándolo de posibles daños en su infraestructura por inundaciones y además genera un impacto menor en los ecosistemas y la fauna de los cuerpos de agua, es también representativo la disminución en la ocupación de vegetación secundaria en la ruta 1 que en la ruta 2.

Adicional a esto, observamos que la escala de trabajo en la cual se encuentra la mayoría de información secundaria con la que se elaboró todo el geoprocesamiento del modelo, puede diferir de la realidad actual, ya sea por la escala de trabajo 1:100.000 la cual es muy general y es la que tiene la mayoría de capas de información, o por la temporalidad de la información, debido a que esto es información de fuentes oficiales gubernamentales y no se actualiza con frecuencia, por lo cual este tipo de análisis abren espacio para tener

indicios de la realidad de la zona de estudio de manera general y es necesario realizar trabajo en campo para corroborar la exactitud de la información.

Conclusiones

Se establecieron los criterios bióticos, abióticos y socioeconómicos para el análisis de restricciones ambientales Aras, lo cual permitió realizar un trabajo adecuado para el estudio de posibles impactos que se puedan minimizar en los proyectos de construcción de infraestructura y en especial de infraestructura que requiere vigilancia y control.

Dado a que la zona de Ciénaga Magdalena tiene áreas de gran importancia ambiental las cuales deben ser protegidas y no se pueden alterar de ninguna manera, estas áreas fueron definidas con uso de herramientas SIG, lo que nos permitió realizar el análisis geográfico brindando una vista general de las condiciones ambientales y socioeconómicas de la zona de estudio, con parámetros como distancias adecuadas alejándose de zonas pobladas, mediante el uso de información secundaria y de ajustes con análisis de imágenes satelitales, todo esto minimiza impactos en ecosistemas importantes, contribuyendo con un desarrollo sostenible, respetando las dinámicas de la población y los ecosistemas , generando así un proyecto armónico con todos sus componentes.

Se realizo un modelo el cual se adaptó a las necesidades plateadas en este proyecto el cual fue determinante en el trazado de la ruta optima que se dio como resultado, todo esto con el uso de herramientas SIG y los modelos de geoprociamiento espaciales desarrollados en diversos software nos permiten el análisis integral desde diversas disciplinas para la elaboración de proyectos de infraestructura, ahorran tiempo, dinero y permiten diseñar planes estratégicos con las poblaciones y ecosistemas a intervenir, ya que se identifican y analizan sus características.

Como resultado de el modelo propuesto se obtuvo el trazado de dos líneas de gaseoducto en la zona de Ciénaga Magdalena, las cuales cumplían con los parámetros bióticos, abióticos y socioeconómicos establecidos, no obstante se propone como trazado de la instalación del de la línea de gasoducto la **Ruta 1**, ya que esta impactaba en un menor porcentaje áreas de interés ambiental y cuerpos de agua presentes en la zona de estudio disminuyendo los problemas al solicitar un licenciamiento con la autoridad ambiental colombiana.

Recomendaciones

Aunque las nuevas tecnologías nos permiten realizar análisis a través de un software, siempre es necesario el trabajo en campo para corroborar los datos analizados partiendo de información secundaria, este procedimiento nos lleva a asegurar la correspondencia absoluta del estudio.

La escala de la información geográfica para este tipo de estudios debe ser una escala local como 1:5000 y no 1:100.000, dado a que la información es más detallada en esta escala, y se permiten manejar datos más verídicos, no obstante, siempre será requerido el trabajo de campo para que se corroboren los datos iniciales como el resultado final.

Referencias Bibliográficas

- Banco Interamericano de Desarrollo (BID, 2021). Banco Interamericano de Desarrollo informe anual 2021: estados financieros. <http://dx.doi.org/10.18235/0004119>
- Chahín, C., Ferreira, A. M., Madero, D. y Vásquez, M. (2020). Consultoría en apoyo a la misión de transformación energética en los temas de abastecimiento, comercialización, transporte, almacenamiento, regasificación, demanda, aspectos institucionales y regulación de gas natural. *IBD, The World Bank*. https://www.minenergia.gov.co/documents/7683/2._El_Rol_del_Gas_en_la_Transformaci%C3%B3n_Energ%C3%A9tica.pdf
- Constitución Política de 1991. <http://www.secretariassenado.gov.co/constitucion-politica>
- Corredor, G. (2018). Colombia y la transición energética. *Ciencia Política*, 13(25), 107-125. DOI: <https://doi.org/10.15446/cp.v12n25.70257>
- García Mogollón, J. E. (2015). Diseño de gasoductos mediante el uso de herramientas computacionales de propósito general [Tesis de pregrado, Universidad de Piura]. https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2410/IME_191.pdf?sequence=1
- Gasnova (2020). *Guía del Gas Colombia 2021*. Grupo Comunicar. <http://www.gasnova.co/wp-content/uploads/2020/11/GUIA-del-GAS-Colombia-2021.pdf>
- Ivannov Y, Lopushanska M Teslovych. (2022) Environmental restrictions of planning the construction of renewable energy facilities in Lviv region. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/364165183_Environmental_restrictions_of_planning_the_construction_of_renewable_energy_facilities_in_Lviv_region

- Karimi S, Sadata F, ForouGhI N, Nahavandhi M, KhaKIAN A. (2014). Environmental impact Assessment (EIA) of Gas Pipeline transmission (Case Study: Duzduzan- Ahar). Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/270395159_Environmental_Impact_Assessment_EIA_of_Gas_Pipeline_Transmission_Case_Study_Duzduzan_-_Ahar
- Jafithmo (2016). Seis alternativas presenta PROMIGAS para desviar el gasoducto por alto riesgo para la comunidad en Ciénaga. *La Lupa Ciénaga*. <https://lalupacienaga.com.co/seis-alternativas-presenta-promigas-para-desviar-gasoducto-por-alto-riesgo-para-la-comunidad-en-cienaga/>
- MEDGAZ. (2004) Environmental impact Assessment. Recuperado de: https://www.medgaz.com/medgaz/doc/EIA_internacional.pdf
- Latorre Chacón, L. (1996). Tecnología del gas natural. *Ingeniería e investigación*, 33, 77-86. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/ingeinvt/article/view/20903>
- Oberholzer L. (2020) Oil and Gas regulation in south Africa: OverView. Recuperado de: [https://uk.practicallaw.thomsonreuters.com/w-010-7341?transitionType=Default&contextData=\(sc.Default\)&firstPage=true](https://uk.practicallaw.thomsonreuters.com/w-010-7341?transitionType=Default&contextData=(sc.Default)&firstPage=true)
- Ouyang Y, CuiWang, Wu Y, Zhang J, Ling C. (2018) Trend of the environmental supervisión on submarine pipeline installation. Recuperado de: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-018-2910-5>
- Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (Osinergmin, 2021). La industria del gas natural en el Perú, mirando al bicentenario y perspectivas recientes. Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería

- Rangel Jiménez, A. E. (2016). El proceso de sustitución de combustibles pesados por gas natural en el sector industrial del Valle del Cauca y del Cauca – Colombia. *Apuntes del CENES*, 35(61), 237-266.
- Resolución 1602 de 1995. (1995, 21 de diciembre). Ministerio del Medio Ambiente. https://www.cvc.gov.co/sites/default/files/Sistema_Gestion_de_Calidad/Procesos%20y%20procedimientos%20Vigente/Normatividad_Gnl/Resolucion%201602%20de%201995-Dic-21.pdf
- Rice, B. (2017). *La historia de los combustibles fósiles*. Teacher Created Materials. <https://books.google.es/books?id=hIEuDgAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>
- Transit Gas Nigeria Limited. (2020). Final Environmental and Social Impact Assessment (ESIA) Report. Recuperado de: <https://www.nexi.go.jp/environment/info/pdf/ESIA1-1.pdf>
- Sanint, E. Á. y Sanín Hernández, A. (2010). Determinación de restricciones y posibilidades ambientales, para la expansión del transporte de gas natural en Colombia. *Revista Gestión y Ambiente*, 13(3), 131-148. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/download/25421/25924/89422>
- WORLD BANK GROUP. (S.F) Environmental, Health, and safety Guidelines for gas Distribution Systems. Recuperado de: <https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/88f41d8f-bd85-4535-a689-066d41b7ee29/Final%2B-%2BGas%2BDistribution%2BSystems.pdf?MOD=AJPERES&CVID=nPtgtbS&id=1323162128496>

Urrego, A. (2021). Bogotá y Medellín tendrán mejoras en las redes de infraestructura de gas natural. *La República*. Sector de gas natural enfrenta retos regulatorios y altos costos para mayor cobertura.

Zhu X, Zhang L, Corrió C, Mol A. (2015) Regional restrictions on environmental impact assessment approval in China: the legitimacy of environmental authoritarianism.

Recuperado

de:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652615000074>