

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas

Localización de una planta de biomasa en la costa ecuatoriana.

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Nombre de la titulación

Ingeniero en Logística y Transporte

Presentado por:

Víctor Manuel García Ayala

Wilmer Ernesto Chamba Narvárez

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2021

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios, por darme la fuerza y la salud a lo largo de estos años para poder seguir adelante y poder lograr esta meta tan ansiada. A mis padres Sonia Ayala y José García, quienes me inculcaron en nunca rendirme y luchar hasta el final para lograr mis objetivos. A mis hermanos, José, Diego y Joaquín, quienes me han dado apoyo, para que yo pueda lograr lo que estoy logrando hoy. Y también, a mis amigos, quienes han sido un pilar importante en todos estos años en la ESPOL.

Víctor García Ayala

DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico a Dios por ayudarnos a culminar nuestros estudios. A nuestros familiares por estar siempre con nosotros y apoyarnos en nuestras necesidades. A nuestros amigos y compañeros, por acompañarnos en nuestra etapa estudiantil. Por último, pero no menos importante a los profesores que fundamento para nuestra educación. A todos los estudiantes que están comenzando su vida universitaria, le dedicamos estas palabras: “No se rindan, vuelvan a levantarse, aprovechen todas las oportunidades que puedan”

Wilmer Chamba Narváez

AGRADECIMIENTOS

Mis agradecimientos van en primer lugar a Dios, a mi familia por ser el apoyo constante e incondicional para mi vida.

Al coordinador de la materia integradora el MSc. Alfredo Ronquillo con sus enseñanzas y comentarios nos ayudó en nuestra formación profesional.

A mi compañero de tesis que aportó con su conocimiento a poder sacar adelante este proyecto.

A mi tutor el MSc. José Vera por su tiempo en aportar en el desarrollo y orientación de este proyecto.

Víctor García Ayala

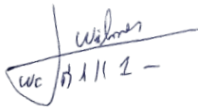
AGRADECIMIENTOS

Primeramente, agradecer a Dios por estar siempre con nosotros y por darnos fuerza para cumplir nuestras metas; A sí mismo, a nuestros familiares por apoyarnos para alcanzar nuestros objetivos; por último, a los profesores que nos tuvieron paciencia en la enseñanza y por brindarnos sus conocimientos y experiencias en la profesión

Wilmer Chamba Narváez

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Wilmer Ernesto Chamba Narvaez y Víctor Manuel García Ayala, y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”

Handwritten signature of Wilmer Ernesto Chamba Narvaez, featuring a stylized 'wc' and the name 'Wilmer'.

Wilmer Ernesto
Chamba Narváez

Handwritten signature of Víctor Manuel García Ayala, featuring the name 'VICTOR' and 'GARCIA' in a stylized font.

Víctor Manuel
García Ayala

EVALUADORES

M.Sc. Carlos Ronquillo Franco

PROFESOR DE LA MATERIA

M.Sc. José Vera Aray

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

Este estudio desarrolla una metodología para determinar la ubicación óptima para una planta de biomasa en Ecuador, bajo estrictas normas de regulaciones ambientales y diferentes restricciones. En su elaboración se realizó el estudio de ubicación a través de software y un modelo, tales como el sistema de información geográfica (SIG), proceso de jerarquía analítica que consideró criterios de idoneidad y el modelo matemático p-médium que generó la ubicación óptima de la planta de biomasa. Por otro lado, se realizó varios escenarios que consistían en aumentar el número de plantas a instalar, con el fin de saber los costos asociados a la operación del transporte. Los resultados generados con el proceso de jerarquización analítica fueron de un mapa de idoneidad con diferentes áreas disponibles a instalar la planta. Además, los resultados del estudio a través del modelo matemático p-médium, revelan que el lugar óptimo a instalar la planta es al norte de la provincia de los Ríos por Ayasa junto a la avenida troncal de la costa pasando el cantón Quevedo. En conclusión, este trabajo genera grandes ventajas al cliente, como la ubicación de la planta de biomasa en la costa ecuatoriana, mapa geográfico para los diferentes criterios de idoneidad que permiten la accesibilidad, reducción de costos y tiempos de viaje en el lugar.

Palabras Clave: Criterio de idoneidad, Proceso de jerarquía analítica, p-medium, QGIS

ABSTRACT

This study develops a methodology to determine the optimal location for a biomass plant in Ecuador, under strict environmental conditions and different restrictions. In this elaboration, the location study was carried out through software and a model, such as the geographic information systems (GIS), an analytical hierarchy process that considered suitability criteria and the p-medium mathematical model that generated the optimal location of the biomass plant. In addition, several scenarios were carried out that consisted of increasing the number of plants to be installed, to know the costs associated with the transport operation. The results generated with the analytical hierarchy process were of a suitability map with different areas available to install the plant. In addition, the results of the study through the mathematical model p-medium, reveal that the optimal place to install the plant is north of the province of Los Ríos by Ayasa, next to the main avenue of the coast passing the Quevedo canton. In conclusion, this work generates great advantages for the client, such as the location of the biomass plant on the Ecuadorian coast, a geographical map for the different suitability criteria that allow accessibility, cost reduction and travel times to the site.

Keywords: *Suitability criteria, Analytical Hierarchy Process, p medium, QGIS*

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	I
<i>ABSTRACT</i>	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS	V
SIMBOLOGÍA	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABLAS	IX
CAPÍTULO 1	1
1. Introducción	1
1.1 Descripción del problema	1
1.1.1 Alcance	2
1.2 Justificación del problema	3
1.3 Objetivos	3
1.3.1 Objetivo General	3
1.3.2 Objetivos Específicos	3
1.4 Marco teórico	3
1.4.1 Marco conceptual	6
CAPÍTULO 2	10
2. Metodología	11
2.1 Técnicas de investigación	11
2.1.1 Análisis de documentos	11
2.2 Recopilación de datos	12
2.2.1 Levantamiento de información	12
2.2.2 Descripción de los datos de información	13

2.3	Descripción de los modelos	19
2.3.1	Proceso de Jerarquía Analítica	19
2.3.1	Modelo matemático P-Médium.....	22
2.4	Uso de software.....	23
2.5	Consideraciones legales y éticas.....	24
2.6	Fases del proyecto	25
2.6.1	Fase 1: Recolección de Datos.....	25
2.6.2	Fase 2: Aplicación del proceso de jerarquía analítica.....	25
2.6.3	Fase 3: Modelamiento y Resultados	26
2.7	Cronograma de trabajo.....	26
Capítulo 3.....		27
3.	Resultados y análisis	27
3.1	Análisis de resultados.....	27
3.1.1	Software QGIS.....	27
3.1.2	Mapa de idoneidad.....	32
3.1.3	Modelo matemático P-médium.....	33
3.1.4	Análisis de costos	35
3.1.5	Entregable.....	38
Capítulo 4.....		39
4.	Conclusiones y recomendaciones.....	39
4.1	Conclusiones	39
4.2	Recomendaciones.....	40
BIBLIOGRAFÍA		41
5.	Bibliografía.....	¡Error! Marcador no definido. 41

ABREVIATURAS

ESPOL Escuela Superior Politécnica del Litoral

SNI Secretaría Nacional de Información

IGM Instituto Geográfico Militar

AHP Proceso de Jerarquía Analítica

SIG Sistema de información geográfica

SIMBOLOGÍA

m	metros
Km	Kilometro
Hec	hectáreas

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 2.1 Fuente hidrografico de la costa ecuatoriana	14
Ilustración 2.2 Elevación.....	
Ilustración 2.3 Inundación.....	15
Ilustración 2.4 Densidad poblacional.....	16
Ilustración 2.5 Servicio básicos.....	16
Ilustración 2.6 Zona agroecologica del café, cacao y banano	17
Ilustración 2.7 Densidad de areas protegidas de la costa ecuatoriana.....	18
Ilustración 2.8 Zonas de carreteras del Ecuador	19
Ilustración 2.9 Cronograma de actividades	26
Ilustración 3.2 Densidad de ecosistemas.....	28
Ilustración 3.1 Cercanía a Zonas Agroecológicas	28
Ilustración 3.4 Cercanía a áreas de inundación	28
Ilustración 3.3 Relieve.....	28
Ilustración 3.6 Cercanía a carreteras	29
Ilustración 3.5 Disponibilidad de Servicios básicos	29
Ilustración 3.8 Densidad poblacional.....	30
Ilustración 3.7 Cercanía a ríos	30
Ilustración 3.9 Recuento total de zonas agroecológicas para la disponibilidad de materia prima por provincias.	31
Ilustración 3.10 Puntos origen de biomasa	31
Ilustración 3.11 Mapa de idoneidad.	32
Ilustración 3.12 Puntos potenciales a implantar la planta de biomasa	33
Ilustración 3.13 Número y ubicación optima de plantas de biomasa para el análisis de costo.....	35

Ilustración 3.14 Variación del costo total de transporte con diferentes números de plantas.....	37
Ilustración 3.15 Entregable	38

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Clasificación por zonas de inundación.....	8
Tabla 2.2 Escala de saaty.....	9
Tabla 2.1. Diversidad Biogeográfica del Ecuador Continental	13
Tabla 2.2 Valor relativo en la matriz	20
Tabla 2.3 Descripción de cada criterio utilizado en el proceso de jerarquía analítica.	20
Tabla 2.4 Clasificación por clase de los criterios de idoneidad	21
Tabla 2.5 Pesos y factores de preferencia obtenidos en el proceso de jerarquía analítica.....	22
Tabla 3.3 Ubicación geográfica de los tres escenarios propuestos	34
Tabla 3.4 Costo de transporte estimado de los tres escenarios propuestos.....	36

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

El término de biomasa comprende un conjunto de materia orgánica con diferentes componentes y características concernientes tanto a su origen como a su naturaleza. La conceptualización del vocablo energético se emplea para definir a aquellas fuentes de energía sostenible, ecológica y renovable, obtenida mediante un proceso de extracción, principalmente de ciertos residuos orgánicos provenientes de plantas como el banano, café y cacao. Estos componen la materia prima necesaria para la fabricación e industrialización de incuantificables productos usados a una escala global, por ejemplo, los combustibles, plásticos y aditivos.

Es un hecho que la agricultura se ha consagrado, desde el establecimiento del ser humano en las sociedades hasta la actualidad, como una de las industrias más importantes en el planeta. Sin embargo, no se ha dado la debida atención al tema de las enormes cantidades de residuos que genera dicha actividad productiva. Ecuador al ser un país agrícola, tiene disponibles cultivos de banano, cacao, plátano, caña de azúcar, café, etc. Se evidencia que, durante el año 2014, los residuos agrícolas producidos en el territorio nacional superaron la cuantiosa cantidad de 10 millones de toneladas. (Serrano, Mejía, Ortiz, Sánchez, & Zalamea, 2017). De este hecho surge la duda respecto a la utilización que se le puede dar a dicho material residual, de tal forma que las industrias puedan emplearlos efectivamente en actividades relacionadas a la conversión energética, mediante la implementación de nuevas fuentes de energía.

Es importante tener en cuenta la importancia de la producción agrícola para el “desarrollo de la humanidad, con el fin de implementar la utilización de productos alternativos, para obtener una producción optimizada, eficiente y sustentable”.(Caicedo et al., 2020). Es por eso, que es importante manejar conocimientos idóneos con respecto a la implementación de plantas de biomasa que utilicen residuos de la producción agrícola para obtener energías renovables que sean amigables con el ambiente.

1.1 Descripción del problema

Las empresas necesitan manejar criterios de idoneidad para la implantación de cualquier infraestructura, que garanticen, en el marco de la ley, la accesibilidad,

seguridad y movilidad, entre otros. Para ello, las empresas requieren seleccionar un lugar óptimo que permita cumplir con los objetivos mencionados. Sin embargo, no siempre es posible alcanzarlos todos, debido a la falta de información y tiempo para identificar criterios precisos en la selección del lugar.

En el presente proyecto de materia integradora se busca encontrar y proporcionar el lugar óptimo dentro del país para la ejecución efectiva del proyecto, a través de la utilización de sistemas de información geográficos, mismos que facilitan en gran medida el estudio de determinadas áreas, contribuyendo con el desarrollo de un modelo idóneo de operaciones para la planta de biomasa, tomando en consideración varios parámetros como normatividad ambiental, accesibilidad, etc. Para este trabajo se ha definido que la planta de biomasa utilice los residuos de banano, cacao y café para la elaboración de combustible, plásticos, aditivos y otras materias primas.

El proyecto consta de dos criterios generales: socioeconómico y ambiental, entre las subcategorías están zonas agroecológicas, cercanía a las carreteras, accesibilidad de servicios básicos, cercanía a ríos, ecosistemas, cercanías áreas de inundación, relieve, densidad de población.

El tema de logística es tratado con mucha importancia, tanto así que ha llegado a convertirse en una de las principales herramientas para que una empresa sea altamente competitiva” (Arreola Rivera, Moreno Delgado, & Carrillo Mendoza, 2013). Por ello, el costo del transporte en este proyecto se lo debe tener en consideración, debido a que este costo está ligado a la distancia que recorre el vehículo, por eso las empresas que se encuentran considerablemente alejadas de las fuentes de materia prima y de sus clientes, presentan un costo de producción más elevado que el de sus homónimas.

Los dos grandes sectores son el manufacturero y agrícola, donde el primer sector es el encargado de procesar y el otro sector proporciona la materia prima, el sector público es un actor indirecto que se encargan de gestionar, vigilar y controlar las leyes ecuatorianas.

1.1.1 Alcance

El alcance de este proyecto incluye múltiples factores entre los que se destaca un modelo geográfico complementado con la información pertinente respecto a los mapas generados por el sistema. Además de esto, se alcanzará ubicaciones

potenciales entre las cuales se seleccionará únicamente a aquella que mejor se adapte a los parámetros establecidos de acuerdo al modelo matemático. Para lograr estos propósitos trascendentales se hará uso de los softwares QGIS y GAMS.

1.2 Justificación del problema

El cliente necesita satisfacer las regulaciones ambientales, accesibilidad, reducciones de costos y tiempo de viajes, por ello se debe seleccionar un lugar accesible para evitar el costo para la construcción de vías de acceso y reducir el costo de transporte por viajar a un lugar lejano. Así mismo, es sustancial tomar en cuenta la normativa en materia ambiental a fin de evitar la propagación desmedida de agentes contaminantes dentro de los ecosistemas. También analizar las características del terreno, para evitar que la extensión de tierra presente irregularidades que a su vez provoquen problemas como inundaciones, gasto para rellenos de tierra, entre otros.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Determinar la ubicación de una planta de biomasa en Ecuador, aplicando sistemas de información geográfica y un modelo matemático que considere criterios socioeconómicos y ambientales.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Determinar criterios de idoneidad de las áreas disponibles para implantar una planta de biomasa.
- Clasificar las áreas por medio de criterios de idoneidad para reducir ubicaciones potenciales dentro de las áreas más idóneas.
- Implementar un modelo matemático utilizando ubicaciones potenciales obtenidas en las áreas idóneas para minimizar las distancias totales.

1.4 Marco teórico

Los conceptos y metodologías detallados a continuación serán un apoyo fundamental para el desarrollo de los objetivos de esta investigación.

Revisión de la bibliografía

El presente estudio versa sobre la determinación de la importancia del establecimiento de una ubicación óptima para la instauración de una posible planta de biomasa en el país, utilizando sistema de información geográfica.

Un sistema de información geográfica (SIG) es una herramienta ampliamente utilizada para investigar la disponibilidad potencial de materias primas de biomasa. Este proyecto utiliza el sistema de información geográfica QGIS, es un software libre que puede ser modificado sin ninguna licencia de tal manera que se puede realizar diferentes y especializadas funcionalidades.

Según el autor (Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt, 2006), el término SIG está ampliamente difundido tanto en la geografía como en otras ciencias, en especial en aquellas vinculadas con la planificación territorial y la resolución de problemas socioeconómicos y ambientales. Para este estudio se tomaron en cuenta dos criterios principales (socioeconómicos y ambientales) para determinar la mejor ubicación para la instalación de biomasa.

Los autores (Sultana & Kumar, 2012) mencionan que el proceso de jerarquía analítica “Es una herramienta potencial que integra sistemáticamente criterios cualitativos y cuantitativos para decisiones complejas”. Por ello el proyecto se desarrolla en dos partes fundamentales: una parte consiste en el procesamiento de datos (cuantitativos y cualitativos) y la otra parte consiste en la optimización de la función objetivo. Se utilizó el Proceso de Jerarquía Analítica (AHP) para establecer ponderaciones de los diferentes criterios de selección y para la optimización se empleó el problema de p medium.

El estudio realizado por (Woo et al., 2018) en su artículo “Optimizing the location of biomass energy”, detallan que la ubicación de una planta de biomasa debe satisfacer una serie de criterios y restricciones, como por ejemplo criterios de exclusión, este criterio considera limitaciones geológicas y ambientales, es por eso que áreas protegidas y reservas, incluyendo áreas de especies amenazadas, áreas de hábitat de vida silvestre, áreas de contaminación del agua y áreas de interés para las comunidades, serán excluidas para la ubicación de planta de biomasa.

Para filtrar datos de información geográfica se requiere el uso de geo portales web que son de soporte para establecer criterios de idoneidad y posibles soluciones en el área de estudio, tales datos geográficos son contenidos en un formato de mapa geográfico, que permite mimetizar la funcionalidad del software QGIS.

“La información geográfica se la puede obtener mediante formatos vectoriales como ráster”. (Sultana & Kumar, 2012). En este trabajo investigativo se recopila información en formatos vectoriales y ráster. El formato ráster es cualquier tipo de imagen digital representada en píxeles, y el formato vectorial es donde los datos están basados en la representación vectorial de la componente espacial de los datos geográficos, su representación es mediante puntos, líneas y polígonos.

En este estudio, la mayoría de los datos serán proporcionados por diferentes sitios web institucionales de Ecuador disponibles, como lo es el sistema nacional de información, INEC, ministerio de obras públicas, geo portales, visores nacionales, entre otros.

Existen diferentes aspectos a tomar en consideración al manipular herramientas de información geográfica, como poder determinar la idoneidad de las posibles ubicaciones candidatas del área de estudio para instalación de la planta. Una de las tareas principales en el análisis de idoneidad es la integración de diferentes criterios relacionados con los factores de ponderación a los criterios (Ghose et al., 2019)

Según los autores (Woo et al., 2018) detallan que “la instalación de la planta de biomasa consta de tres fases, la disponibilidad de la tierra, idoneidad de la tierra y la ubicación-asignación de las posibles instalaciones de biomasa”. Como primer punto del proyecto se busca información para la selección de tierra disponible al momento de establecer una planta de biomasa en base a ciertas restricciones que el cliente requiere, después por medio de criterios de idoneidad se logra identificar ciertas ubicaciones para la planta, finalmente por medio del modelo matemático se determina la ubicación óptima para el estudio.

A continuación, se detalla el modelo matemático p medium con sus respectivas restricciones

$$\text{Min} \sum_{ij} W_i X_{ij} d_{ij} \quad (1)$$

$$\sum_i X_{ij} = 1 \quad ; \quad i \in V \quad (2)$$

$$X_{ij} \leq y_j \quad ; \quad j \in V \quad (3)$$

$$\sum_j y_j = p \quad (4)$$

$$X_{ij}, y_j \in \{0,1\} \quad i \in V \quad j \in V \quad (5)$$

Donde

i = Número de puntos de origen de biomasa.

j = Sitios de instalaciones potenciales

W_i = Peso asociado con cada punto de origen i

d_{ij} = Distancia entre el área de la fuente i y la instalación potencial j

X_{ij} = Es una variable binaria donde es igual a 1 si la fuente i está asignada a la instalación j , caso contrario toma el valor de 0

y_j = Es una variable binaria donde es igual a 1 si la instalación está ubicada en el punto candidato j , caso contrario toma el valor de 0.

p = Es el número de plantas que se van a implantar.

La función objetivo representa la ponderación de la distancia total, la primera restricción **(2)** obliga a la biomasa de cada fuente a ser asignada a solo una instalación, La segunda restricción **(3)** permite que el punto fuente i se asigne a j solo si hay una instalación abierta en esa ubicación, La tercera restricción **(4)** dicta el número total de instalaciones asignadas.

1.4.1 Marco conceptual

Para este proyecto serán usados todas las definiciones, conceptos y métodos detallados a continuación:

- Sistema de información geográfico

“El término sistema de información geográfico, que en la actualidad está ampliamente difundido tanto en la geografía como en otras ciencias, en especial en aquellas vinculadas con la planificación territorial y la resolución de problemas socioeconómicos y ambientales, es de compleja definición habida cuenta de sus capacidades técnicas y analíticas y su carácter multipropósito” (López Lara, Posada Simeón, & Moreno Navarro, 1998)

- Hidrografía

Como indica Bastidas (2007), la hidrografía se puede definir como la descripción, investigación y cartografía de los océanos, mares, lagos, lagunas, ríos, entre otros cuerpos de agua y demás fenómenos hidrometeoros lógicos

- Zonas agroecológicas

Conforme con lo que expresa la (Real Academia Española(RAE), 2014), una zona es una superficie terrestre delimitada y la palabra agroecológicas abarca dos materias que son la agricultura y la ecología, es decir, que una zona agroecológica busca que la agricultura sea amigable con el ambiente y no lo perjudique.

- Densidad de población

De acuerdo con Bastidas (2010), la densidad poblacional de un área determinada es calculada al dividir la población de dicha área para la extensión de la misma. Los recursos naturales tales como vegetación, fauna, recursos minerales, etc., son un factor determinante para la población ya que estos lugares seria de mayor aprovechamiento para las personas.

- Reserva Natural

Según Juan Manuel Pons (2003), una reserva natural son porciones terrestres o acuáticas del territorio nacional representativas de los diversos ecosistemas. Es decir, estas áreas son de beneficio ecológico ya que el ambiente natural no ha sido alterado por diversos factores contaminantes.

- Reserva de la Biosfera

Las reservas de la biosfera, tomando como referencia el criterio de Borsdorf (2014), no son áreas protegidas en el sentido tradicional del término, sino que tienen como objetivo primordial conciliar la conservación de la diversidad biológica, la búsqueda de un desarrollo económico y social y el mantenimiento de los valores culturales asociados. (Unesco 1995).

- Carreteras

Como indica Sergio J (2008), las carreteras se pueden definir como la adaptación de una faja sobre la superficie terrestre que llene las condiciones de ancho, alineamiento y pendiente para permitir la circulación de los vehículos.

- Zona de inundación

Bajo la perspectiva de Vergara (2011), las zonas con peligro de inundarse se clasifican en alta, media y baja susceptibilidad en relación con los criterios de altitud, pendiente, geomorfología y vegetación. En la tabla 1.1 se muestra las medidas descritas por Vergara según la clasificación por zona de inundación. Msnm (metros sobre el nivel del mar).

Tabla 1.1 Clasificación por zonas de inundación.

Clasificación por zonas de inundación	Elevación (msnm)	Pendiente
Alta susceptibilidad	0 a 20	0° y 2°
Media susceptibilidad	20 a 40	2° y 5°
Baja susceptibilidad	>40	>5°

Fuente: Vergara, 2011

- Relieve

El relieve son un “conjunto de formas complejas que accidentan la superficie del globo terráqueo”. (RAE, 2014), es decir, la altura de la superficie terrestre sobre el nivel del mar.

- Proceso de Jerarquía Analítica (AHP)

Según Saaty (1987) el proceso de jerarquía analítica es una teoría general de medición que se utiliza para impulsar escalas de relación a partir de comparaciones pareadas. Este análisis pareado entre criterios de selección sirve para establecer ponderaciones que se utiliza para hallar una relación entre los criterios.

La tabla 1.2 detalla la escala de ponderación que se utilizó para el AHP.

Tabla2.2 Escala de saaty.

Relativa importancia	Definición	Explicación
1	Igual Importancia	Dos actividades contribuyen igualmente al objetivo
3	Importancia moderada de uno sobre otro	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente una actividad sobre otra
5	Importancia esencial o fuerte	La experiencia y los juicios favorecen fuertemente una actividad sobre otra
7	Importancia muy fuerte	Una actividad se ve fuertemente favorecida y su dominio se demuestra en la práctica.
9	Extrema importancia	La evidencia que favorece una actividad sobre otra es del orden de afirmación más alto posible.
2,4,6,8	Valores intermedios entre los dos juicios adyacentes	Cuando se necesita compromiso
Recíprocos	Si la actividad i tiene uno de los números anteriores asignado a él en comparación con la actividad j, entonces j tiene el valor recíproco cuando se compara con i	
Racional	Razones que surgen de la escala	Si la consistencia fuera forzada mediante la obtención de n valores numéricos para abarcar la matriz

Fuente: Saaty, 1987.

- Modelo matemático de p-médium

Este modelo permite “Determinar p biofacilidades en un conjunto predefinido con n ($n > p$) instalaciones candidatas para satisfacer un conjunto de demandas de modo que la suma total de distancias ponderadas entre cada punto de demanda e instalación se minimiza.” (Sultana & Kumar, 2012, p.4).

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

En este capítulo se presentan los métodos, técnicas y software que se utilizaron para alcanzar los objetivos planteados el inicio del trabajo investigativo.

2.1 Técnicas de investigación

En el presente proyecto fue empleada la técnica de investigación que consistía en el análisis de documentos dado que el trabajo investigativo se lo desarrolló en base a nuevas modalidades de trabajo integrador. Este uso viabilizó la obtención de los instrumentos y procedimientos indispensables en el acceso a la información necesaria para el adecuado desarrollo del proyecto.

2.1.1 Análisis de documentos

Para conseguir información objetiva, actualizada y verídica los instrumentos de recolección de datos utilizados a lo largo del proyecto se enfocaron en la revisión de fuentes primarias afines al campo de estudio entre los que destacan, el trabajo de Woo (2018) que trata sobre la Optimización de la ubicación de instalaciones de energía de biomasa mediante la integración de análisis de criterios múltiples (MCA) y sistemas de información geográfica, y el trabajo de Sultana(2012) sobre la ubicación y tamaño óptimos de las instalaciones de bioenergía utilizando un sistema de información geográfica. En ellos se expone un minucioso proceso de validación sobre los criterios a utilizar en el software QGIS. Posteriormente, se procedió con el análisis de los documentos recabados en las diferentes fuentes para receptor únicamente la información requerida en el trabajo investigativo.

En adición a esto, fue posible consolidar el propósito principal de la investigación y así determinar la ubicación de un espacio geográfico propicio para la implementación de una planta de biomasa. Guardando concordancia con las necesidades del cliente y ajustándose tanto a las diferentes normativas promulgadas en materia ambiental vigente en el territorio nacional.

2.2 Recopilación de datos

2.2.1 Levantamiento de información

Los datos recopilados para el desarrollo y estructuración del proyecto provienen de varias páginas web, las cuales se caracterizaron principalmente por su veracidad debido a que proceden de entidades gubernamentales. Para llevar a cabo el levantamiento de información fue necesario recurrir a portales web tales como el Sistema Nacional de Información (SNI). Dicho portal web contiene un conjunto organizado de elementos constituyentes como Visores y Geo-Portales que hacen posible la recolección y almacenamiento de información relevante en la materia a una escala nacional. Ahí se encuentran alojados datos pertenecientes a otros departamentos estatales como el Instituto Geográfico Militar, Ministerio del Ambiente y Ministerio de Agricultura, mismos que contribuyeron con información indispensable para la investigación. A continuación, se detalla el porqué de la relevancia de cada institución gubernamental dentro del proyecto.

2.2.1.1 Instituto Geográfico Militar

El Instituto Geográfico Militar en conjunto con el Ministerio de Trabajo del Ecuador, brinda soporte con respecto a información geográfica de carreteras, fuentes de agua y elevaciones. Por medio de este portal se pudo encontrar diferentes visores tales como el visor de datos geográficos oficiales, visor temático, atlas geográfico ambiental del Ecuador, visor aptitud física constructiva. Todos estos visores brindan información que integran de manera sencilla los datos geográficos, imágenes y estadísticas geográficas que fueron relevantes en la investigación.

2.2.1.2 Ministerio de Agricultura

El Ministerio de Agricultura, a través de la Coordinación General de Información Nacional Agropecuaria (CGINA) y por medio del geo portal del agro ecuatoriano permite encontrar información geoespacial del sector agropecuario acerca de los cultivos del banano, café y cacao.

2.2.1.2 Ministerio del Ambiente

Por medio del sitio web del Ministerio del Ambiente no solo se pudo obtener información con respecto a mapas geográficos de áreas protegidas, ecosistemas y

otros; sino también de las diferentes regulaciones y normas que Ecuador toma en consideración para una evaluación efectiva en manejo del patrimonio ambiental.

La biogeografía del Ecuador y la variación climática que presenta son determinantes para explicar la importante diversidad biológica que se alberga en su territorio (MAE, 2013a). Esa diversidad tiene una relación estrecha por factores de ubicación geográfica dentro del Ecuador, efectos orográficos del levantamiento de las cordilleras de la costa ecuatoriana, entre otros.

Tabla 2.1. Diversidad Biogeográfica del Ecuador Continental

BIOGEOGRAFÍA DEL ECUADOR			
Regiones Biogeográficas	Amazonía	Andes	Litoral
Provincias Biogeográficas	Amazonía noroccidental	Andes del norte chocó	Pacífico Ecuatorial
Sector Biogeográficas	Abanico del Pastaza Choco Ecuatorial Cordillera costera del choco	Cordillera Costera del pacífico Ecuatorial Cordillera Occidental	Páramo Sur de la cordillera Oriental Tigre - Pastaza

Fuente: MAE 2013a

2.2.2 Descripción de los datos de información

Por medio del uso de los portales web relacionados con el Sistema Nacional de Información, pudieron ser recabados información geográfica de mapas que incluyen aspectos medulares acerca de sectores provistos de residuos orgánicos provenientes de productos agrícolas.

Ecuador es un país que posee biodiversidad de cultivos y se ha posicionado como uno de los productores más importantes del mundo con respecto a cultivos de banano, café y cacao. Con respecto a la disponibilidad de residuos, estudios realizados por investigadores del Centro Neotropical de Investigación de Biomasa de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, revelan que existe un altísimo potencial para el establecimiento de combustible biodegradable en Ecuador. (Carjaval.2013). Sin embargo, existen limitaciones a tener en consideración para la implantación de la planta. Esas limitaciones se las detallará a continuación.

2.2.2.1 Hidrografía

La hidrografía fue un factor determinante en la investigación, puesto que la implementación de la planta debe observar las disposiciones relativas al uso, mantenimiento y conservación de las aguas. Por ello, resulta beneficioso conocer sitios alejados de fuentes acuífera como ríos simples, dobles y lagunas, reservas ecológicas y ecosistemas frágiles o amenazados, debido a que dichos asentamientos constituyen áreas protegidas de enorme relevancia para la vida tanto animal como vegetal.

La capa de fuentes hidrográficas proviene de formato ráster con tamaño de píxel de 20x20 y con 562 elementos que poseen áreas entre 69922 metros cuadrado y 368139877 metros cuadrados.

En la ilustración 2.1 se puede observar que las partes de color dan referencia a la disponibilidad de fuentes hidrográficas en el Ecuador.

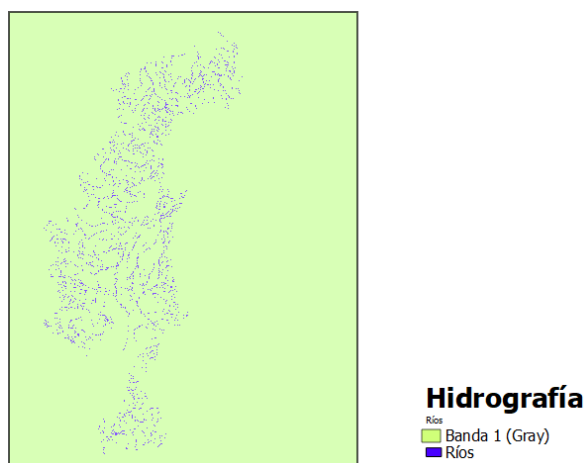


Ilustración 2.1 Fuente hidrografico de la costa ecuatoriana

Fuente: Insituto Geográfico Militar.

2.2.2.2 Inundación y elevación

El terreno debe verse desprovisto de irregularidades como conurbaciones, elevaciones e inundaciones, toda esa información se la pudo obtener mediante el uso de geo portales web. Con el uso del software QGIS se preseleccionó ciertas áreas bajo estrictos criterios de viabilidad con respecto a elevaciones e inundaciones que puede presentar el lugar, es por este motivo que el proyecto se limitó a la zona costera ya que cuenta con menor relieve.

La capa de inundación proviene en formato vectorial y consta de 300 elementos, donde los 293 elementos tienen áreas hasta 3224,17 metros cuadrado, los otros 6 elementos hasta 4120255,31 metros cuadrado y el último elemento de 16471348,73 metro cuadrado.

La capa elevación o nivel se encuentra en formato ráster con tamaño de píxel de 92,49x92,49 y sus valores varían entre -22 hasta 5372 metros sobre el nivel del mar, con un promedio de 764,88 y una desviación estándar de 1211,77, indicando que la distribución es muy variable.

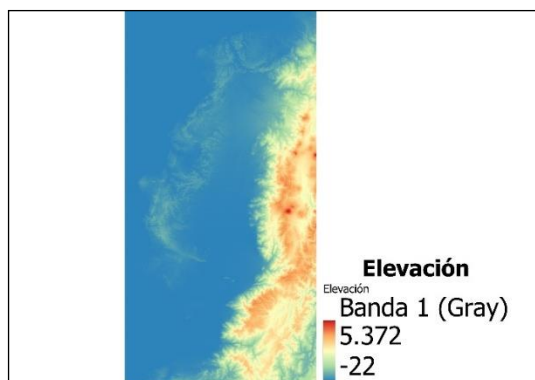


Ilustración 2.2 Elevación.

Fuente: Instituto Geográfico Militar



Ilustración 2.3 Inundación

Fuente: Instituto Geográfico Militar

2.2.2.3 Densidad de población

La capa de densidad de población proviene en formato vectorial con 40669 elementos, donde las zonas urbanas cuentan con 20560(55,55%) elementos con un área total de 2059982880,62 metros cuadrados. Las zonas vacías que poseen un rango de densidad de 0 a 2 habitantes sobre kilómetros cuadrados tienen la mayor extensión de área total 111343886960,46(44,50%) metros cuadrados pero solo representan el 1,78% de elementos totales de la capa.

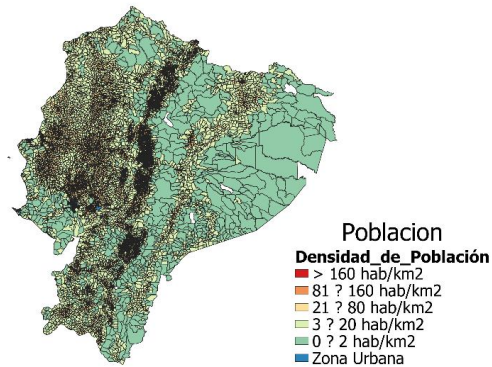


Ilustración 2.4 Densidad poblacional

Fuente: Instituto Geográfico Militar.

2.2.2.4 Servicios básicos

El trabajo investigativo tomó en consideración a los servicios básicos como otro de los puntos importantes, porque las plantas industriales necesitan energía eléctrica y agua potable para sus procesos. Además, de alcantarillado y depósito de desechos.

La capa de servicios básicos proviene en formato vectorial con 40669 elementos, donde 20560(50,55%) de los elementos pertenecen a zonas urbanas con un área total de 2059982880,62 metros cuadrados (0,82%). Las zonas con disponibilidad muy baja poseen 2113 elementos con mayor área total de 44,08%.

En la ilustración 2.5 se observa que en Ecuador no cuenta con todos los servicios básicos en la mayoría de su territorio.

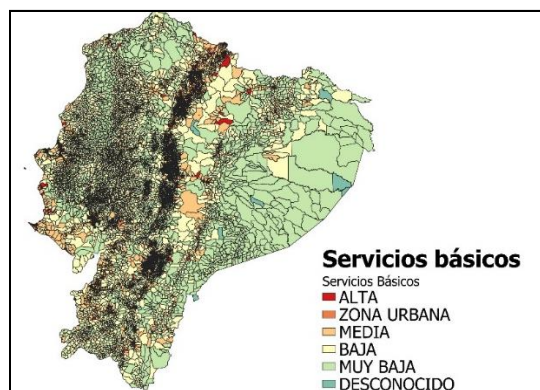


Ilustración 2.5 Servicio básicos

Fuente: Instituto Geográfico Militar.

2.2.2.5 Zonas agroecológicas.

Las capas de las zonas agroecológicas o materia prima utilizadas fueron de clase Moderada y Óptima para los cultivos de banano, café y cacao, los cuales se encontraron en formato vectorial con 4253 elementos. Pero este proyecto no considero áreas con menor de 500 hectáreas, es decir, se utilizó solo 3427(80,78%) elementos con un área total de 309091881,5 (99,94%) hectáreas. Además, todas las zonas agroecológicas se encuentran en las provincias de Esmeraldas, Guayas, Los Ríos y Manabí, tal como se muestra en la ilustración 2.6.

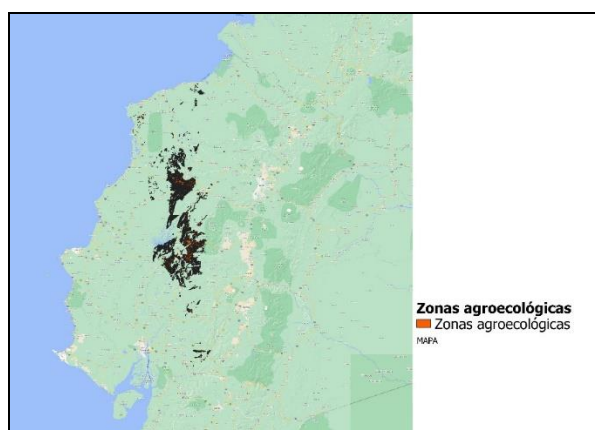


Ilustración 2.6 Zona agroecologica del café, cacao y banano

Fuente: Ministerio de Agricultura y Ganadería.

2.2.2.6 Ecosistemas

En el Ecuador se observan tres unidades geomorfológicas a escala regional; costa, de relieves colinados y grandes llanuras corresponde con la región Litoral. Montaña, de relieves montañosos y escarpados, corresponde a región Andes. Oriente, de relieves de llanuras y penillanuras, corresponde a región Amazonía. (MAE, 2013a). Estas escalas regionales poseen reservas naturales, ecosistemas y seres vivos que son patrimonio nacional e invadirlo sería penado por la ley es por este motivo que se debe realizar un estudio exhaustivo en donde poder desarrollar una planta de biomasa.

La capa de áreas protegidos o ecosistemas proviene de un formato vectorial con 83 elementos solo para la costa ecuatoriana. La variabilidad de la densidad en las áreas protegidas se encuentra entre 0 y 2,10. Los 59 elementos de densidad 0 forman un área total de 31703472376,7 metros cuadrados y el resto de los elementos tienen un área total de 34685509530 (52,25%) metros cuadrados.

En la ilustración 2.7 muestra la agrupación de ecosistemas, reservas naturales y biosfera del Ecuador.

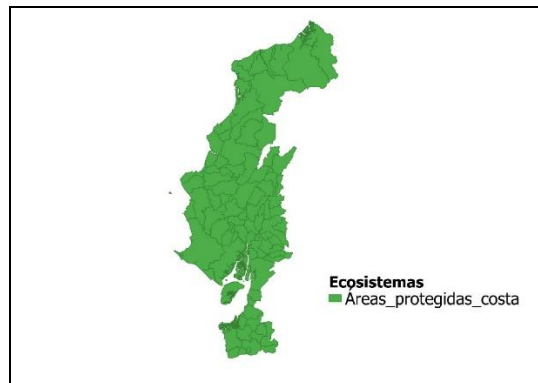


Ilustración 2.7 Densidad de áreas protegidas de la costa ecuatoriana

Fuente: Ministerio del Ambiente.

2.2.2.7 Carreteras

La capa de Carreteras o vía se encuentra en formato vectorial con 16545 elementos, donde 6783 elementos se encuentran no pavimentado, en cambio todas las autopistas si se encuentran pavimentado, sin embargo, la mayoría de los elementos pertenecen a vías con 15614 que se encuentran en tres estados; temporal, no pavimentado y pavimentado. Por otro lado, en Ecuador existe 3 clases de rutas: la ruta local que están formados por calles y vías, la ruta primaria que está formado por autopistas y vías y las rutas secundarias que están conformadas solo por vías.

Las carreteras son un factor determinante ya que se necesita estar en lugares cercano a las vías para mejorar la accesibilidad al lugar donde está ubicada la planta de biomasa y evitar generar costos que se pueden suscitar al no tener accesibilidad. En la ilustración 2.8 se observa las zonas registradas de carreteras del Ecuador.

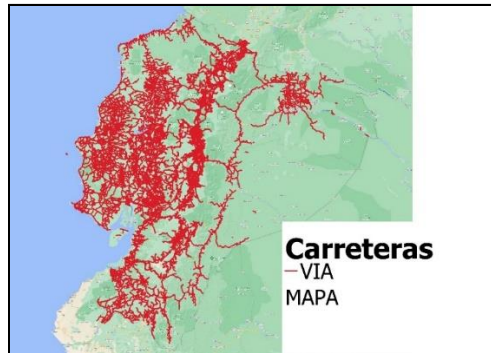


Ilustración 2.8 Zonas de carreteras del Ecuador

Fuente: Instituto Geográfico Militar

2.3 Descripción de los modelos

2.3.1 Proceso de Jerarquía Analítica

El AHP consiste en establecer criterios en base a una escala de puntuación del 1 al 9 mediante un proceso de comparación, a través de pesos relativos que se le asigna a cada criterio. Por medio de este proceso se logra obtener una matriz de comparación, valor relativo y vector de ponderación. Esta metodología se utiliza para resolver problemas en los cuales existe la necesidad de priorizar distintas opciones y posteriormente decidir cuál es la opción más conveniente. Para este proceso se desarrolló en un esquema para poder obtener mejores resultados, este esquema se detalla a continuación.

- **Definir los criterios de decisión en forma de objetivos jerárquicos**

La jerarquización se estructura en diferentes niveles, iniciando con la definición del objetivo principal del proceso de jerarquía analítica, luego se definen los niveles intermedios, es decir los criterios y finalmente se describen las alternativas a ser comparadas.

- **Evaluar los diferentes criterios y alternativas en función de su importancia**

Esta técnica está basada en la suposición donde el analista puede de forma más fácil elegir un valor de comparación, es decir los juicios verbales son trasladados a una escala de puntuación.

La tabla 2.2 hace referencia a la matriz de comparación pareada, al comparar cada uno de los criterios de idoneidad con respecto a la escala de saaty, los criterios de

las columnas y filas están asociados con los criterios descritos en la tabla 2.3. Esta tabla 2.2 tiene dimensión $n \times n$ donde n equivale el número de criterios.

Tabla 2.2 Valor relativo en la matriz

	A	B	C	D	E	F	G	H
A	0,34768	0,65625	0,38043	0,23985	0,15517	0,10630	0,10563	0,13462
B	0,06954	0,13125	0,38043	0,23985	0,15517	0,10630	0,14789	0,13462
C	0,11589	0,04375	0,12681	0,39975	0,25862	0,17717	0,14789	0,13462
D	0,11589	0,04375	0,02536	0,07995	0,36207	0,24803	0,19014	0,17308
E	0,11589	0,04375	0,02536	0,01142	0,05172	0,31890	0,19014	0,17308
F	0,11589	0,04375	0,02536	0,01142	0,00575	0,03543	0,19014	0,17308
G	0,06954	0,01875	0,01812	0,00888	0,00575	0,00394	0,02113	0,05769
H	0,04967	0,01875	0,01812	0,00888	0,00575	0,00394	0,00704	0,01923

Fuente: Elaboración por los autores en base a la matriz de comparación

Tabla 2.3 Descripción de cada criterio utilizado en el proceso de jerarquía analítica.

	Criterio	Descripción
A	Cercanía a zonas agroecológicas	División por rangos de distancias dependiendo de la cercanías a las zonas agroecológicas(cacao, café y banano)
B	Cercanía a carreteras	División por rangos de distancias dependiendo de la cercanías a las carreteras
C	Accesibilidad de Servicios básicos	Clasificación de accesibilidad a servicios básicos(energía eléctrica, agua potable, recolección de basura, etc)
D	Cercanía a ríos	División por rangos de distancias dependiendo de la cercanías a ríos
E	Densidad de ecosistemas	Clasificación por concentración de áreas protegidas, reservas naturales, entre otros.
F	Cercanía áreas de inundación	División por rangos de distancias dependiendo de la cercanías a las áreas de inundación
G	Relieve	Clasificación por altura
H	Densidad de población	Clasificación por su rango de densidad

Fuente: Elaboración por los autores

Tabla 2.4 Clasificación por clase de los criterios de idoneidad

Clases	Clasificación por densidad población	Disponibilidad de servicios	Relieves (Metro)	Carreteras (Metros)	Hidrografía (Metros)	Ecosistemas	Zonas agroecológicas (Metro)	Área de inundación (Metro)
1		Desconocido	>4000	>5000	300	2,1	2000	500
2	3000-20000	Muy Baja	1000	5000	1000	1,05	5000	1000
3	21000-80000	Baja	300	1000	2000	0,7	10000	5000
4	81000-160000	Media – Zona urbana	100	200	5000	0,35	20000	15000
5	>160000	Alta	<50	50	>5000	0	>20000	>15000

Fuente: Elaboración por los autores

La tabla 2.4 describe la clasificación por clase de cada criterio de idoneidad utilizado en el trabajo investigativo, la columna donde se encuentra el criterio de densidad poblacional detalla la clasificación por rango (Habitantes/ m^2) de cada clase, en donde la clase 5 tiene una densidad muy alta, la clase 4 la densidad es alta, la clase 3 la densidad es media, la clase 2 la densidad es baja y mantiene ciertas zonas vacías y la clase 1 la densidad es desconocida.

Los pesos de cada criterio como se muestran en la tabla 2.5, obtienen mayor ponderación los criterios ambientales por el motivo de cumplir con las consideraciones legales y éticas de la naturaleza, esto se enfatizó en los subcriterios donde las zonas agroecológicas obtuvieron el mayor peso en comparación con los demás subcriterios. En el criterio socioeconómico la accesibilidad de servicio básico se le dio mayor peso para reducir costos adicionales de instalación de agua, luz, entre otros.

Tabla 2.5 Pesos y factores de preferencia obtenidos en el proceso de jerarquía analítica.

Criterios Principales	Pesos	Subcriterios	Peso Total	Peso de Cada Subcriterio
Socioeconómico	0,36261	Cercanía a carreteras.	0,17063	0,4705
		Accesibilidad de servicio básico.	0,17556	0,4841
		Densidad poblacional.	0,01642	0,0452
Ambiental	0,63737	Zonas agroecológicas	0,26574	0,4169
		Cercanía a ríos	0,15478	0,2428
		Densidad de ecosistemas	0,11628	0,1824
		Cercanía áreas de inundación	0,0751	0,1178
		Relieve	0,02547	0,0399
Suma Total	1		1	2

Fuente: Elaboración por los autores.

2.3.1 Modelo matemático P-Médium

Para implementar el modelo matemático de programación mixta entera se definió los índices, conjuntos y variables. El índice $i = \{1,2,\dots,n=3427\}$, mientras que el índice $j = \{1,2,\dots,m=359\}$ y el conjunto $V = \{1,2,\dots,n\}$, donde n es el número total de posibles ubicaciones potenciales y m es el número de puntos origen de biomasa. Por otro lado, la variable W_i tiene dimensión n y la escala varía entre valores de 0 y 5, cuando tiene menor área toma el valor de 0 y cuando tiene mayor área la ponderación toma el valor de 5. A continuación, se detalla el modelo matemático con sus respectivas restricciones.

$$\text{Min } z = \sum_{i=1}^{3427} \sum_{j=1}^{359} w_i x_{ij} d_{ij} \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^{14876} X_{ij} = 1 ; i \in V \quad (2)$$

$$X_{ij} \leq y_j ; j \in V \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^{4251} y_j = 1 \quad (4)$$

$$X_{ij}, y_j \in \{0,1\} \quad i \in V \quad j \in V \quad (5)$$

El valor de j toma valores de 1 hasta n donde n es el número total de posibles ubicaciones. En este caso n es igual a 3427 ubicaciones posibles. El valor de i toma valores de 1 hasta m donde m es el número de puntos origen de biomasa en este caso m es igual a 359 puntos que se generaron en la zona agroecológica.

La función objetivo representa la ponderación de la distancia total, la primera restricción (2) obliga a la biomasa de cada fuente a ser asignada a solo una instalación, es decir los puntos que se generaron en la zona agroecológica serán asignados a un solo punto donde va a estar la planta de biomasa.

La segunda restricción (3) permite que el punto fuente i se asigne a j solo si hay una instalación abierta en esa ubicación, es decir los puntos que se generaron en la zona agroecológica se asignarán a los posibles candidatos de instalación siempre y cuando este abierta en esa ubicación.

La tercera restricción (4) dicta el número total de instalaciones asignadas, en este caso $p = 1$.

2.4 Uso de software

El apartado netamente práctico del presente trabajo investigativo fue ejecutado mediante la utilización de dos tipos de software, los cuales fueron Quantum Geographic Information System (QGIS) y General Algebraic Modeling System (GAMS).

QGIS consiste sustancialmente en un sistema de información geográfica libre y de código habilitado para diversas plataformas de enorme circulación como Windows, Android, Mac Os y Linux. Este software está caracterizado por su remarcada utilidad y

versatilidad puesto que ofrece un amplio abanico de funciones que viabilizan el manejo eficiente de formatos ráster y vectorial.

Lo descrito cobra gran relevancia dentro de la investigación puesto que la información obtenida mediante el uso de los Geo-Portales de la Secretaría Nacional de Planificación (SNP), Instituto Geográfico Militar (IGM), entre otras instituciones, son los pilares fundamentales sobre los que se cimienta la base del proyecto.

Por su parte, GAMS es un software de alto nivel en el modelado de sistema para la optimización matemática, es decir que hace posible el uso de solvers en el software. En el marco del trabajo investigativo fue trascendental para seleccionar una ubicación óptima entre un punto posible y varios criterios establecidos.

2.5 Consideraciones legales y éticas

Para la ejecución y concertación material del presente proyecto de investigación es imprescindible allanarse tanto a las disposiciones normativas nacionales dispuestas en materia ambiental, como a los diversos criterios éticos aceptados dentro de nuestra sociedad actual.

La Constitución de la República del Ecuador, es el texto normativo de mayor rango jerárquico dentro del territorio ecuatoriano. Por consiguiente, sus normas fueron las más consideradas. Los artículos 71, 72, 73 y 74 pertenecientes al capítulo séptimo titulado Derechos de la Naturaleza, declaran expresamente al entorno natural como el sitio donde se reproduce y realiza la vida, motivo por el cual lo reconoce como sujeto irrenunciable de derechos y garantías de carácter constitucional. En adición, los artículos 319 y 320, del mismo cuerpo legal señalan que las empresas, industrias y personas jurídicas independientemente de las actividades económicas que realicen, ostentan la posibilidad de radicarse y ejecutar sus actividades productivas dentro del país. Sin embargo, se establece como requisito indispensable dar cumplimiento a las leyes tocantes a principios de calidad, sostenibilidad, productividad y eficiencia, respetando siempre la función social y ambiental que debe caracterizar a cada emprendimiento.

El trabajo de investigación también tomó en consideración a cuerpos normativos de mediana y modesta jerarquía como el Código Orgánico del Ambiente, cuyo objeto principal es salvaguardar los derechos de la naturaleza para consolidar la garantía de un ambiente sano y ecológicamente equilibrado. El ámbito de aplicación de dicha

norma es vinculante, es decir, de cumplimiento obligatorio para todas las personas naturales y jurídicas que se encuentren en Ecuador. Vale recalcar que el proyecto observa también las disposiciones del Código Orgánico de la Producción, Comercio e Inversiones, que es una guía legal para todo lo relativo a los procedimientos de producción y distribución.

Este estudio se desarrolló conforme a sólidos criterios y valores dogmáticos ajustando los principios que justifican la investigación, puesto que la instauración de una planta de biomasa, de realizarse de manera inadecuada, podría significar paulatinamente un riesgo a nivel ambiental.

2.6 Fases del proyecto

El proyecto consistió en las siguientes fases:

2.6.1 Fase 1: Recolección de Datos

Esta fase contribuye para establecer los criterios de idoneidad de las áreas. La recolección de datos se basó en la entrevista con el cliente para conocer las necesidades principales tales como: el acceso inmediato a las vías principales del Ecuador, cumplir con normas ambientales y características del terreno. Por ello, para acceder a esa información se utilizó portales web gubernamentales donde se pudo obtener mapas geográficos en formato ráster y vectorial de las vías principales, reservas ecológicas, fuentes de agua, inundación, relieve, zonas agroecológicas, la densidad poblacional y servicios básicos.

2.6.2 Fase 2: Aplicación del proceso de jerarquía analítica

En esta fase se utilizó el software QGIS para la manipulación de la información obtenida en la fase 1, donde se comenzó limitando la zona de estudio a la costa ecuatoriana para todas las capas obtenidas, esta limitación se la realizó para reducir el tiempo de procesamiento en el software y obtener mejores resultados.

Después, se aplicó el proceso de jerarquía analítica que consistió en clasificar las áreas por medio de los criterios de idoneidad, para reducir ubicaciones potenciales dentro del área de estudio. Estos criterios están basados en normas legales, ambientales y por consideraciones propias. Por medio de este proceso de jerarquización se determinó que es necesario el uso de 5 clases para el análisis, de la misma forma se obtuvo las respectivas ponderaciones entre los criterios para poder

proceder a la transformación e intercepción de los mapas. Por último, se generó puntos donde es posible instalar la planta de biomasa en las áreas de intercepción y se calculó las distancias entre los puntos posibles y las zonas agroecológicas.

2.6.3 Fase 3: Modelamiento y Resultados

Para esta fase fue necesario la extracción de la matriz de distancias utilizando ubicaciones potenciales obtenidas en las áreas idóneas, para implementar el modelo de p-médium y las respectivas restricciones se utilizó el software de modelamiento GAMS para minimizar las distancias totales. Dando como resultado la ubicación óptima donde se ubicará la planta.

2.7 Cronograma de trabajo

En la ilustración 2.9 se describe el cronograma de trabajo para el desarrollo del proyecto, en la cual se indica las semanas y fechas estipuladas para poder distribuir de manera óptima el tiempo que se llevó a cabo cada actividad.

ETAPAS	ACTIVIDADES REALIZADAS	FECHA ESTABLECIDA	SEPTIEMBRE				OCTUBRE				NOVIEMBRE				DICIEMBRE				ENERO				FEBRERO			
			S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4
FASE 1	Entrevista con el cliente de la empresa	23/09/2021																								
	Recolección de datos en base a la entrevista realizada	03/10/2021																								
	Definición y descripción de la problemática	14/10/2021																								
	Desarrollo de los entregables y objetivos del trabajo investigativo	19/10/2021																								
	Finalización del capítulo	27/10/2021																								
FASE 2	Delimitar el proyecto a la zona costera ecuatoriana	01/11/2021																								
	Establecer criterios de idoneidad	06/11/2021																								
	Aplicación del proceso de jerarquía analítica	08/11/2021																								
	Establecer ponderaciones entre criterios	10/11/2021																								
	Transformación e intercepción de las diferentes capas	16/11/2021																								
	Generación de puntos posibles donde instalar la planta de biomasa	19/11/2021																								
	Calcular las distancias entre los puntos posibles y zonas agroecológicas	22/11/2021																								
	Reunión con el cliente y posibles correcciones	30/11/2021																								
	Finalización del capítulo	02/12/2021																								
Fase 3	Generación de la matriz de distancia en Qgis	10/12/2021																								
	Planteamiento del modelo de P-medium con sus respectivas restricciones	12/12/2021																								
	Utilización del programa de modelamiento de Gams	17/12/2021																								
	Obtención del lugar óptimo para implantar la planta de biomasa	21/12/2021																								
	Reunión con el cliente y posibles correcciones	03/01/2022																								
	Análisis y revisión del contenido general del proyecto investigativo	16/01/2022																								
	Elaboración del entregable final al cliente	26/01/2022																								

Ilustración 2.9 Cronograma de actividades

Fuente: Elaboración por los autores.

Capítulo 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En este capítulo se describe los resultados obtenidos, donde se utilizó el proceso de jerarquía analítica para establecer criterios en base a la escala de puntuación de Saaty y así generar la matriz de comparación, valor relativo y vector de ponderación. Además, se procedió a utilizar el modelo matemático P-medium para obtener la ubicación donde podría ser construida la planta de biomasa, por último, se estableció una estimación del costo de transporte que se generan en el proceso de distribución desde las zonas agroecológicas hacia la planta de biomasa.

3.1 Análisis de resultados

En esta sección se detalla el análisis de resultados que se dieron luego de la ejecución del software de QGIS, proceso de jerarquía analítica, modelo matemático P-médium y el análisis de costo.

3.1.1 Software QGIS

3.1.1.1 *Diseño de mapas*

Los criterios de idoneidad fueron diseñados en mapas por medio de QGIS, donde los criterios de: cercanía a zonas agroecológicas, cercanías a área de inundación, cercanías a carreteras y cercanía a ríos, fueron diseños de tal manera que cada capa pueda representar una clase. Por otro lado, los criterios de: densidad poblacional, densidad de ecosistemas, relieve y disponibilidad a servicios básicos, fueron diseñados dependiendo de sus características, como se lo muestra a continuación:

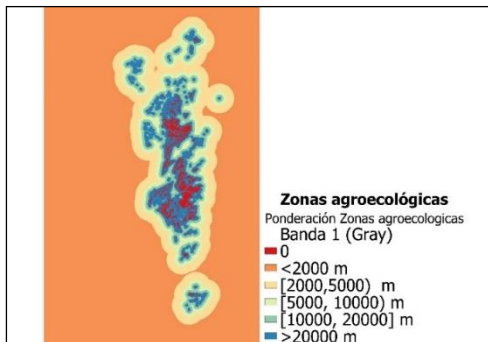


Ilustración 3.1 Cercanía a Zonas Agroecológicas

Fuente: Elaborado por los autores

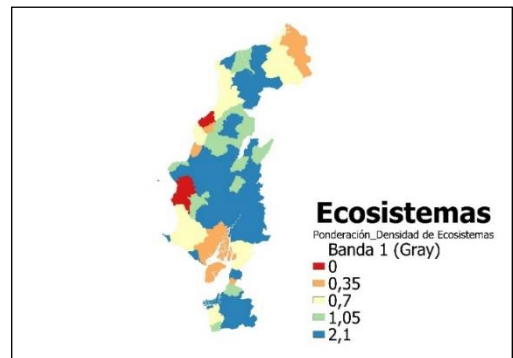


Ilustración 3.2 Densidad de ecosistemas

Fuente: Elaborado por los autores

En la ilustración 3.1 se presentó el diseño del mapa del criterio sobre la cercanía a las zonas agroecológicas, donde se generaron 3941 elementos sin incluir las zonas agroecológicas, con un promedio de 4.97 y teniendo la concentración del 98.27% de elementos en la clase 5, es decir, existen más elementos que se encuentran a una distancia menor a 2000 metros (<2000 m) de las zonas agroecológicas.

En la ilustración 3.2 represento el diseño del mapa del criterio sobre la densidad de ecosistemas, donde se generaron 491 elementos, con un promedio de 3.17, pero la concentración del 63.84% de elementos se encuentran en la clase 2 y 5, es decir, con densidad de 0.35 y 2.1.

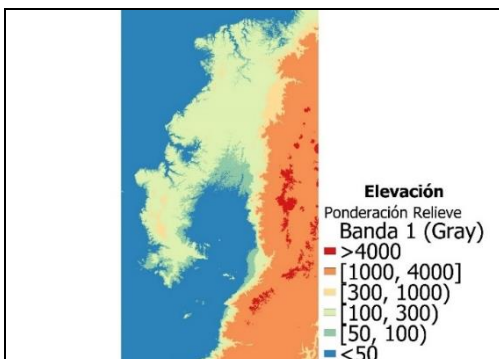


Ilustración 3.3 Relieve

Fuente: Elaborado por los autores

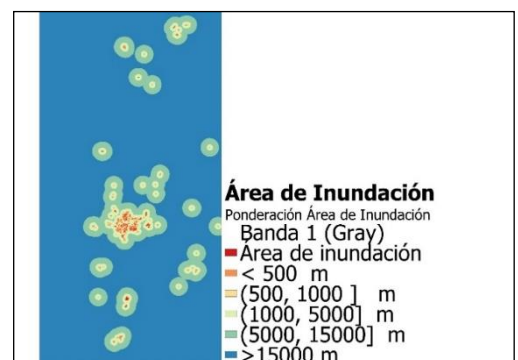


Ilustración 3.4 Cercanía a áreas de inundación

Fuente: Elaborado por los autores

La ilustración 3.3 presento el diseño del mapa sobre el criterio de Relieve, donde se obtuvo 25013 elementos, con promedio de 3.81 y la concentración del 69.91% de los elementos se encuentran en las clases 4 y 3, es decir, que existen más elementos en las zonas entre 50 y 300 metros sobre el nivel del mar.

La ilustración 3.4 se diseñó el mapa del criterio sobre la cercanía a las áreas de inundación, donde se obtuvo 343 elementos sin incluir las áreas de inundación, con un promedio de 1.68 y la concentración del 82.51% de los elementos se encuentran en las clases 1 y 2, es decir, existen más elementos en las cercanías de las áreas de inundación hasta los 1000 metros.

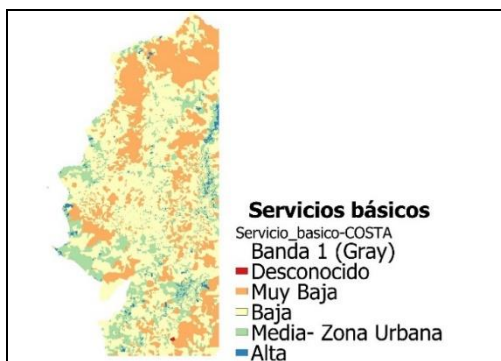


Ilustración 3.5 Disponibilidad de Servicios básicos

Fuente: Elaborado por los autores

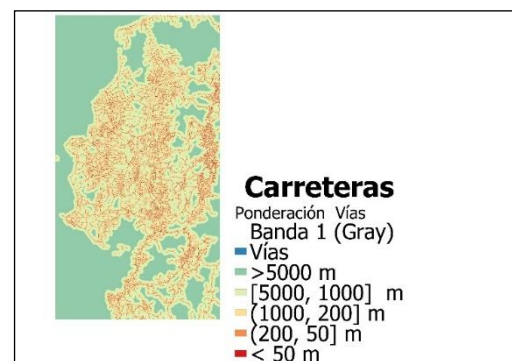


Ilustración 3.6 Cercanía a carreteras

Fuente: Elaborado por los autores

La ilustración 3.5 presento el diseño del mapa sobre el criterio de la disponibilidad de los servicios básicos, donde se obtuvieron 2733 elementos, con promedio de 3.81 y la concentración del 67.33% de elementos se encuentran en las zonas con disponibilidad ALTA, Media y Zona Urbana. De igual forma, la ilustración 3.6 se presentó el diseño del mapa sobre el criterio de las cercanías a las carreteras, donde se obtuvieron más de 16545 elementos y su concentración de elementos se encuentran en las cercanías de las carreteras hasta los 200 metros.

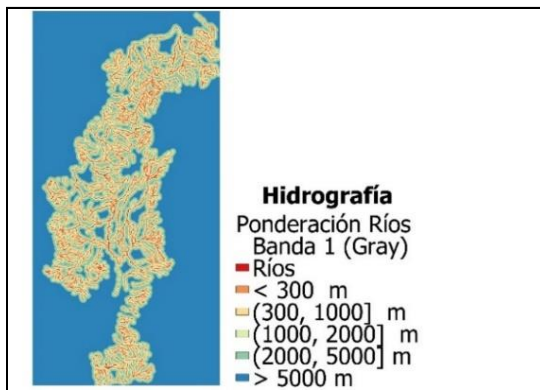


Ilustración 3.7 Cercanía a ríos
Fuente: Elaborado por los autores

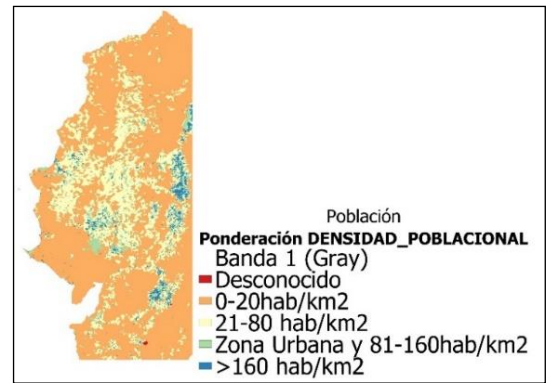


Ilustración 3.8 Densidad poblacional
Fuente: Elaborado por los autores

La ilustración 3.7 presento el diseño del mapa sobre el criterio de la cercanía a los ríos, donde se obtuvo 2230 elementos, con promedio de 2.47 y la concentración del 76.77% de los elementos se encuentran en las clases 1,3 y 4, es decir, que existen más elementos en las zonas menores a 300 metros (<300 metros) y zonas entre 1000 y 5000 metros.

La ilustración 3.8 presento el diseño el mapa del criterio sobre la densidad poblacional en la zona costera, donde se obtuvo 3565 elementos, con un promedio de 4.07 y la concentración del 71.47% de los elementos se encuentran en los rangos de densidad de mayor a $81 \frac{Hab}{Km^2}$ y en las Zonas Urbanas.

3.1.1.2 Disponibilidad de materia prima

Se estableció que las zonas agroecológicas son los puntos disponibles donde se extraen la materia prima, es decir los residuos del banano, café y cacao, ya que las zonas son aptas para el cultivo y no perjudica el ambiente, pero solo 3427 puntos de 4256 donde poseen áreas mayores de 500 hectáreas. En la ilustración 3.9 se observó la concentración de zonas agroecológicas donde se puede extraer la materia prima en un mapa del Ecuador y con la ayuda de la ilustración 3.10 mostró la concentración los puntos disponibles por ciudad donde la planta de biomasa podrá abastecerse.

Según Dirección Generación de Geo información Agropecuaria (DGGA, 2020), la provincia de los ríos tiene aproximadamente el 24% de puntos disponibles siendo este el de mayor cantidad, esto se debe porque en esta provincia hay mayor afluencia

de sectores agrícolas que cultivan tanto banano, café y cacao. Según Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIAP, s.f) la mayor zona de producción de esta musácea son la provincia de Manabí, Santo domingo y los Ríos con 52612, 14249 y 13376 hectáreas, respectivamente. Esos datos están relacionados con la ilustración 3.9 ya que la provincia de Manabí tiene aproximadamente el 13% de puntos disponibles ocupando la cuarta casilla como mayor lugar disponible de materia prima.



Ilustración 3.9 Recuento total de zonas agroecológicas para la disponibilidad de materia prima por provincias.

Fuente: Elaborado por los autores a partir de la tabla de atributo de la capa de zonas agroecológicas utilizadas.

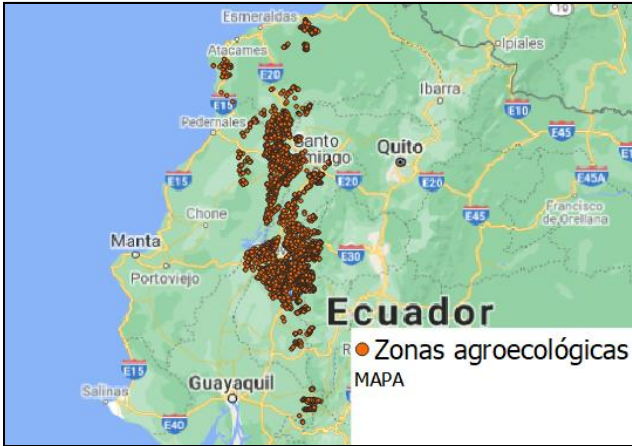


Ilustración 3.10 Puntos origen de biomasa

Fuente: Elaboración por los autores.

3.1.2 Mapa de idoneidad

Por medio de cálculos ráster se procedió a la unión de capas con el vector ponderación (Peso total de cada criterio) generando un total de 45596 datos, los rangos resultantes fueron de 1,21789 hasta 4,70735 en donde más cercano a 4,70735 se obtendría mejores ubicaciones potenciales en comparación a otros.

Por ello se estableció 5 clases entre los rangos resultantes donde la última clase (4,5 hasta 4,70735) obtuvo niveles óptimos con un total de 359 ubicaciones posibles.

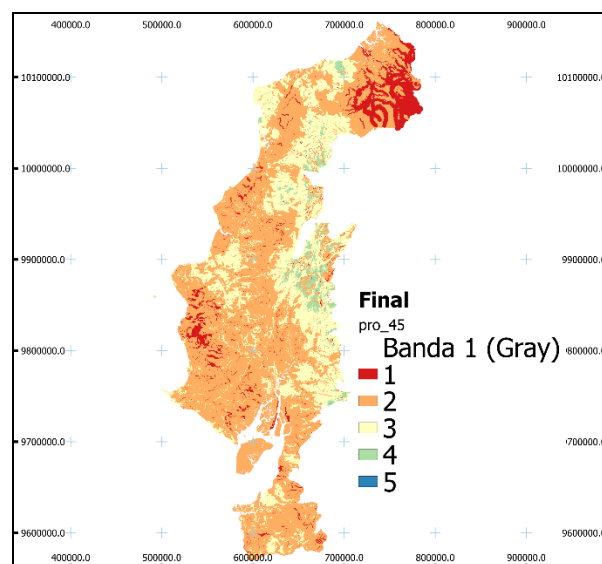


Ilustración 3.11 Mapa de idoneidad.

Fuente: Elaboración por los autores

La ilustración 3.11 se la obtuvo por medio de la calculadora ráster generando 5 clases, estas clases se las clasificó por medio de los rangos resultantes, el primer criterio comienza desde 1,21 hasta 2,09, el segundo criterio comienza desde 2,09 hasta 2,96, el tercer criterio comienza desde 2,96 hasta 3,83, el cuarto criterio comienza desde 3,83 hasta 4,5 y el quinto criterio comienza desde 4,5 hasta 4,70.

3.1.3 Modelo matemático P-médium

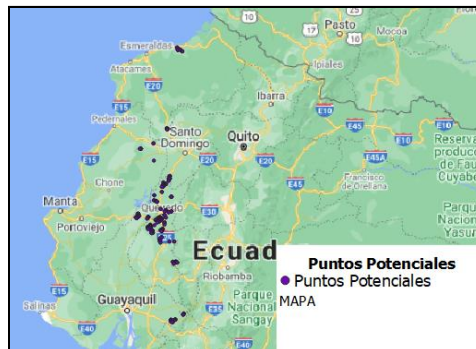


Ilustración 3.12 Puntos potenciales a implantar la planta de biomasa

Fuente: Elaborado por los autores

Una vez obtenida la matriz de distancia por medio del QGIS, se procedió a utilizar el modelo matemático de p médium, la matriz de distancia obtuvo dimensiones $n \times m$ donde n ($n=3427$) representa el número total de posibles ubicaciones mostradas en la ilustración 3.12 y m ($m= 359$) es el número total de puntos origen de biomasa como se observa en la ilustración 3.11.

El resultado da un punto con coordenadas $(-0.73826966, -79.46937484)$ el lugar óptimo para instalar la planta de biomasa, esa locación se encuentra al norte de la provincia de los Ríos por Ayasa junto a la avenida troncal de la costa pasando el cantón Quevedo.

En la tabla 3.3 se muestra los resultados al implementar el software GAMS, esa tabla describe el punto, la ubicación geográfica y el valor de la función objetivo, el primer escenario hace referencia al lugar donde se va a implementar la planta de biomasa y los demás escenarios son simulaciones para estimar la variación del costo del transporte al aumentar el número de plantas.

Tabla 3.3 Ubicación geográfica de los tres escenarios propuestos

Escenario	Ubicación Geográfica	Valor de la función objetivo	Coordenadas
Primer escenario	Norte de la provincia de los Ríos por Ayasa.	1113203,30	(-0.738270, -79.469375)
Segundo escenario	Al este de la provincia de Santo Domingo por la Concordia.	675882,77	(0,03377542, -79,40495521)
	Al norte de la provincia de los Ríos por Quevedo.		(-1,02273464, -79,43758711)
Tercer escenario	Al norte de la provincia de Esmeraldas por Valencia.	584343,12	(1,01421482, -79,23881273)
	Al este de la provincia de Santo Domingo por la Concordia.		(0,03377542, -79,40495521)
	Al norte de la provincia de los Ríos por Quevedo.		(-1,02273464, -79,43758711)

Fuente: Elaborado de los autores.

En la tabla 3.3 se observa que el valor de la función objetivo para el tercer escenario es menor en comparación a los otros escenarios, esto se debe porque al aumentar el número de plantas, menor será el recorrido hacia los puntos de biomasa,

pero en términos de costos no sería rentable, este análisis se lo describe más detallado en el siguiente ítem.

3.1.4 Análisis de costos

En el análisis de costo se simuló tres escenarios para evaluar el impacto al aumentar el número de plantas de biomasa. Por medio del análisis de ubicación-asignación se calcularon los costos de transporte para un número creciente de plantas de biomasa. En la ilustración 3.13 se muestra los 3 escenarios propuestos para el análisis de costo, estas ubicaciones fueron encontradas por medio del modelo de p-médium, utilizando 359 puntos candidatos para instalar la planta.

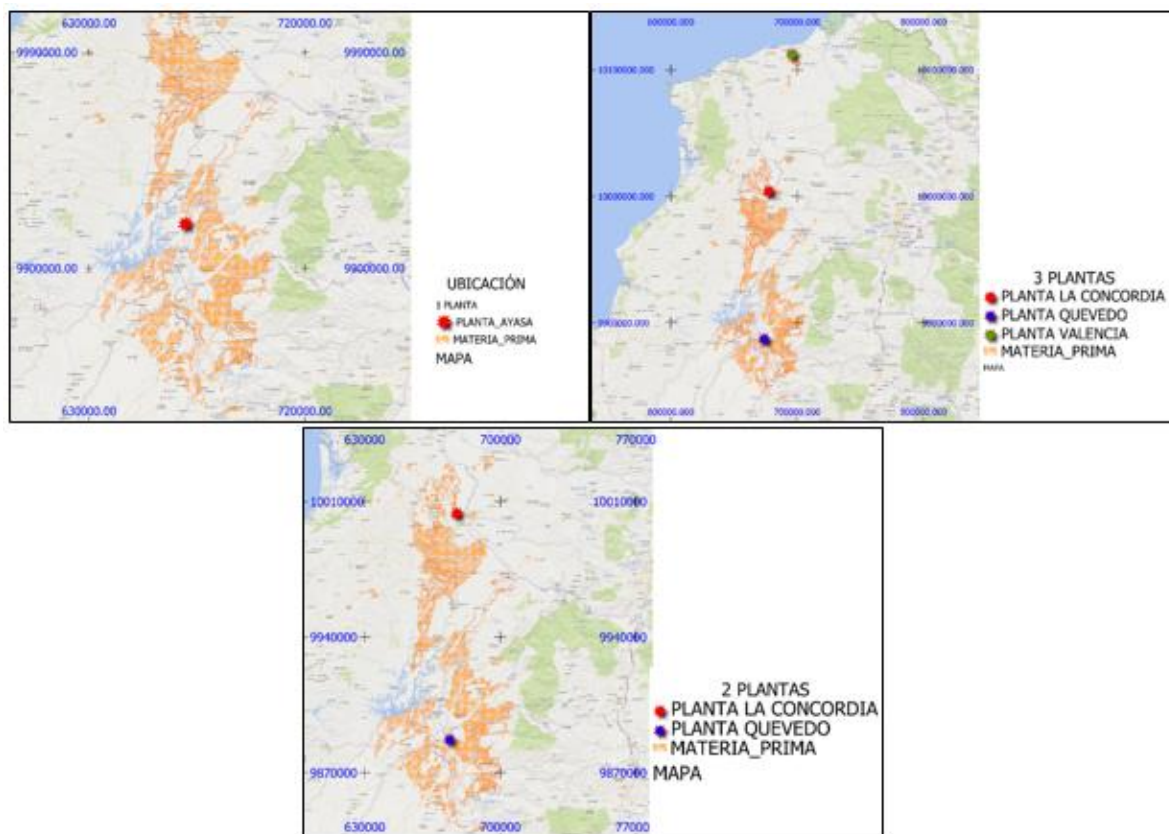


Ilustración 3.13 Número y ubicación óptima de plantas de biomasa para el análisis de costo.

Fuente: Elaborado por los autores

Los costos de transporte estimados para el estudio se presentan en la tabla 3.4, este costo fue muy dependiente a la distancia entre la planta de biomasa y las ubicaciones disponibles de materia prima tales como desechos de banano, café y cacao.

El primer escenario muestra el lugar para desarrollar la planta ubicada en el cantón Ayasa en la provincia de los ríos, se generó un costo muy alto debido a que se obtuvo mayor distancia entre la planta y los puntos de obtención de materia prima. Al aumentar a dos el número de instalaciones, la distancia y el costo de transporte disminuyeron en comparación con el primer escenario. Según los diferentes escenarios, el número óptimo de plantas de biomasa a implantar fue de dos, ubicada en la Concordia y Quevedo.

Tabla 3.4 Costo de transporte estimado de los tres escenarios propuestos.

Planta	Disponibilidad de biomasa Ton /Año	Distancia Promedio Km	Costo del transporte Tm /Km	Costo Total
Planta Ayasa	367906	95523.63	0,0862	\$ 3,029,388,233.02
Planta la Concordia	177981	140479.78	0,0862	\$ 2,155,235,414.77
Planta Quevedo	12621	94549.40	0,0862	\$ 102,863,152.30
Planta Valencia	57843	140479.78	0,0862	\$ 700,441,519.58
Planta la Concordia	177981	94549.40	0,0862	\$ 1,450,573,386.44
Planta Quevedo	12621	303623.93	0,0862	\$ 330,321,639.47

Fuente: Elaborado por los autores.

En la tabla 3.4 la segunda columna fue recolectada de diferentes investigaciones para el análisis, según Guerrero (2016) Ecuador cuenta con 224,137 hectáreas dedicadas al cultivo de los cuales se generaría 198,602 toneladas al año de residuos de banano. Según Carvajal (2013) el residuo de banano al año en Ecuador genera

140,412 toneladas, el residuo del café genera 227,494 toneladas y el residuo del cacao genera 137,300 toneladas.

Según Servicio Nacional de Contratación Pública (SERCOP, 2012), detalla que los costos del transporte asumidos por Ton/Km son de 0,0862. Toda esta información se la utilizó para el análisis de costo.

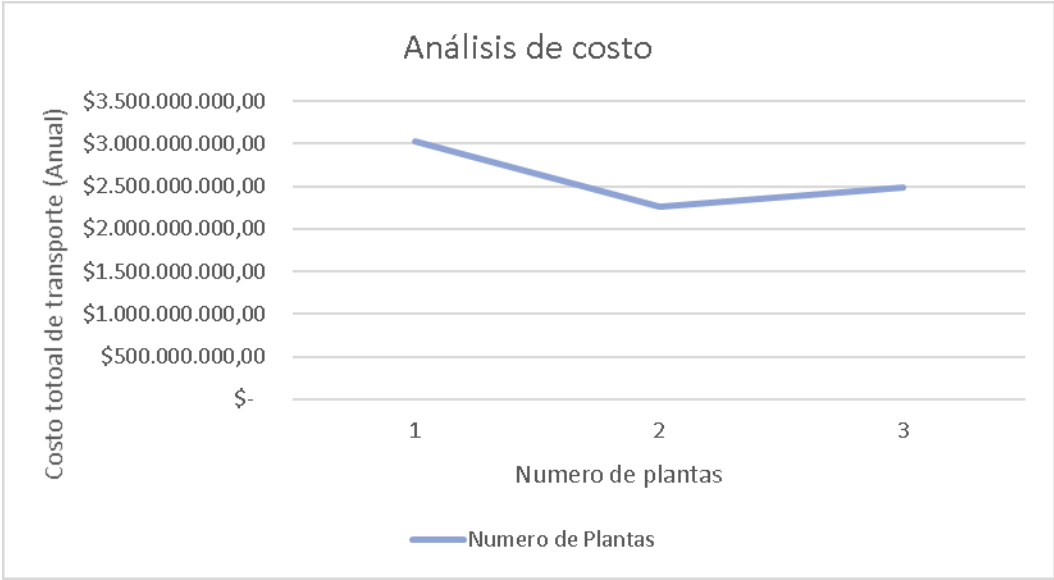


Ilustración 3.14 Variación del costo total de transporte con diferentes números de plantas.

Fuente: Elaborado por los autores.

La ilustración 3.14 muestra que los costos de transportes comienzan a aumentar cuando se instala tres o más plantas de biomasa.

3.1.5 Entregable

Como parte de los entregables se tiene:

- Proyecto en QGIS, el modelo geográfico con toda la información que se utilizó (capas en formato vectorial y Ráster), permitiendo obtener el mapa de idoneidad descrito en la ilustración 3.12 y las capas de ponderación descritas en la ilustración 3.1 hasta 3.8 para los diferentes criterios de idoneidad.
- Ubicaciones potenciales que se generaron en la matriz distancia en el formato Excel y la ubicación final de acuerdo con el modelo matemático, se obtuvo la ubicación optima en la coordenada (-0.073826966, -79.46937484) por el cantón Ayasa

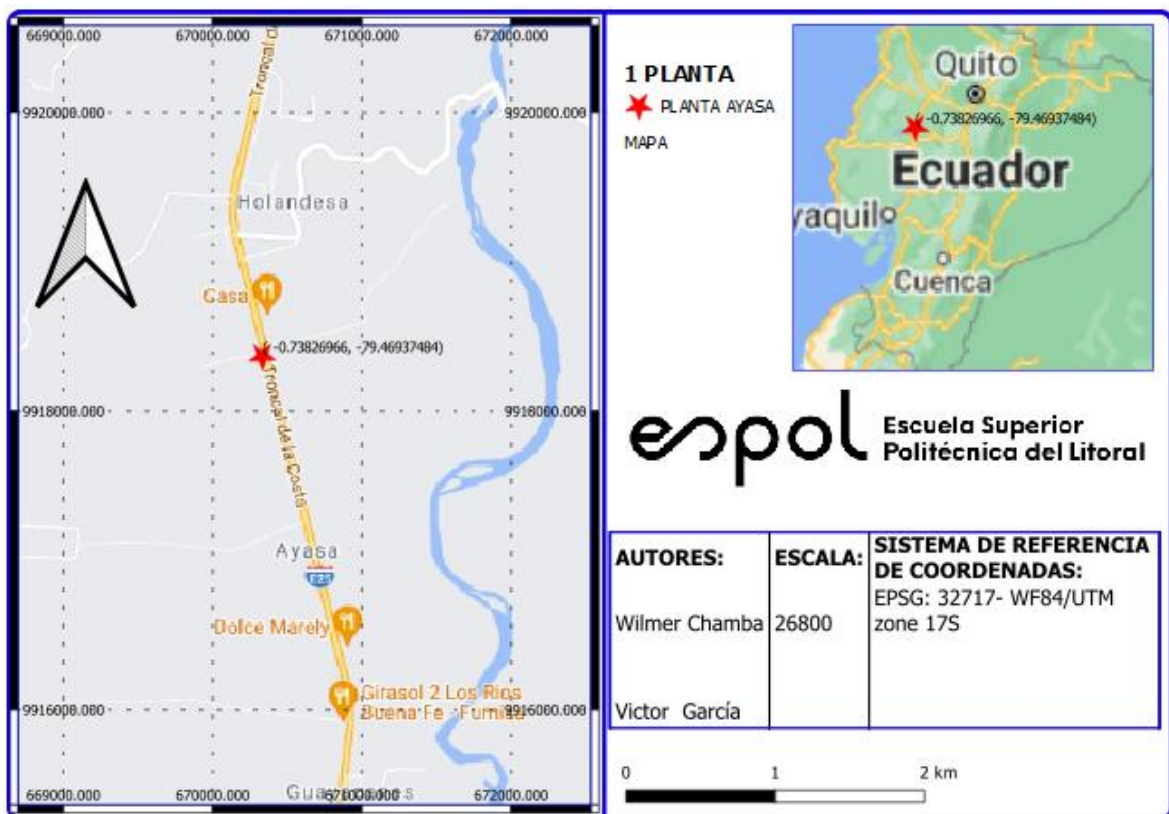


Ilustración 3.15 Entregable

Fuente: Elaborado por los autores

Capítulo 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

Por medio de este proyecto se pudo encontrar resultados que permitió tener un mejor panorama para instalar la planta de biomasa en la costa ecuatoriana. Tomando como referencia los objetivos específicos descritos en este proyecto, se concluye que:

- Por medio de varias simulaciones sobre escenarios de costos de transporte, se concluyó que la opción idónea sería construir dos plantas de biomasa ya que sus costos de transportación son bajos, que es consecuencia de la mejor distribución entre las plantas de biomasa y las plantaciones de cultivos.
- Los criterios de idoneidad, socioeconómico y ambiental fueron un factor determinante para la ubicación de la planta de biomasa, esto se vio reflejado en el análisis de jerarquización analítica ya que los subcriterios como zonas agroecológicas, cercanía a ríos, cercanía a carreteras y accesibilidad de servicio básico obtuvieron una ponderación mayor en comparación a los demás subcriterios.
- La disponibilidad estimada de biomasa determinó que en Ecuador hay un total de 3427 puntos factible que generan residuos de banano, café y cacao. Es decir, este estudio más allá del análisis general en el factor locación, idoneidad, entre otros, también muestra que el país como tal posee una abundante cantidad de puntos para operar la planta de biomasa en la costa ecuatoriana.

4.2 Recomendaciones

- Se recomienda utilizar otro programa para el modelamiento matemático como Python, ya que, GAMS por temas de memoria presenta varios inconvenientes para manejar matrices de grandes dimensiones.
- Considerar más criterios como topología de los suelos, nivel de riesgo, puertos, ubicación de los clientes o almacenes, entre otros.
- Comparar y mejorar los métodos analíticos y modelos matemáticos, ya que el proceso de jerarquía analítica puede ser muy arbitrario con respecto a sus criterios y ponderaciones; por otro lado, el modelo matemático de p-médium se lo puede mejorar y considerar otras variables a utilizar.

BIBLIOGRAFÍA

- Arreola Rivera, R., Moreno Delgado, L., & Carrillo Mendoza, J. d. (Julio de 2013). Logística de Transporte y su desarrollo. *Observatorio de la Economía Latinoamericana*(185). Obtenido de <https://ideas.repec.org/a/erv/observ/y2013i1853.html>
- Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt. (Febrero de 2006). Los Sistemas de Información Geográfica. *Geoenseñanza*, 11(1), 107-116. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=36012424010>
- López Lara, E. J., Posada Simeón, J. C., & Moreno Navarro, J. G. (1 de Abril de 1998). Los Sistemas de Información Geográfica. Congreso de Ciencia Regional de Andalucía[Ponencia]. Sevilla, España. Obtenido de <http://hdl.handle.net/11441/40831>
- Real Academia Española(RAE). (2014). Hidrografía. España: En Diccionario de la Lengua Española(edición del Tricentenario). Obtenido de www.rae.es
- Serrano, J., Mejía, W., Ortiz, J., Sánchez, A., & Zalamea, S. (18 de Septiembre de 2017). Determinación del Potencial de Generación Eléctrica a Partir de Biomasa en el Ecuador. *Revista de la Facultad de Ciencias Químicas*, 21.
- Caicedo, J. C., Puyol, J. L., López, M. C., & Ibáñez, S. S. (2020). Adaptabilidad en el sistema de producción agrícola: Una mirada desde los productos alternativos sostenibles/ Adaptability in the agricultural production system: A look from sustainable alternative products. *Revista de Ciencias Sociales*, 308–327. <https://doi.org/10.31876/rcs.v26i4.34665>
- Ghose, D., Naskar, S., & Uddin, S. (2019). Q-GIS-MCDA based approach to identify suitable biomass facility location in Sikkim (India). 2019 2nd International Conference on Advanced Computational and Communication Paradigms, ICACCP 2019. <https://doi.org/10.1109/ICACCP.2019.8882978>
- Saaty, R. W. (1987). THE ANALYTIC HIERARCHY PROCESS-WHAT IT IS AND HOW IT IS USED (Vol. 9, Issue 5). [https://doi.org/10.1016/0270-0255\(87\)90473-8](https://doi.org/10.1016/0270-0255(87)90473-8)
- Sultana, A., & Kumar, A. (2012). Optimal siting and size of bioenergy facilities using geographic information system. *Applied Energy*, 94, 192–201. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.01.052>

- Woo, H., Acuna, M., Moroni, M., Taskhiri, M. S., & Turner, P. (2018). Optimizing the location of biomass energy facilities by integrating Multi-Criteria Analysis (MCA) and Geographical Information Systems (GIS). *Forests*, 9(10). <https://doi.org/10.3390/f9100585>
- MAE. 2013a. Sistema de Clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental. Subsecretaría de Patrimonio Natural. Quito.
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), (2012). Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua. Quito: Autor.
- Aceves, L. 2008. Estudio para determinar zonas de alta potencialidad del cultivo del plátano (*Mussa paradisiaca*) en el estado de Tabasco. México, Mx.
- López Lara, E. J., Posada Simeón, J. C., & Moreno Navarro, J. G. (1 de Abril de 1998). Los Sistemas de Información Geográfica. Congreso de Ciencia Regional de Andalucía[Ponencia]. Sevilla, España. Obtenido de <http://hdl.handle.net/11441/40831>
- Enrique Javier Carvajal Barriga (2013). Etanol De Segunda Generación Partir De Biomasa Residual; Investigación Y Perspectiva En Ecuador.
- Guerrero, A.B.; Aguado, P.L.; Sánchez, J.; Curt, M.D. "GIS-Based Assessment of Banana Residual Biomass Potential for Ethanol Production and Power Generation: A Case Study". *Waste and Biomass Valorization* 7 (2): 405-415. DOI: 10.1007/s12649-015-9455-3. April 2016.
- Romero, R & Romero, G. (2010). Determinación De Los Costos Aplicados A La Producción Bananera, Caso Práctico: Empresa "Ausur S.A." Período 2009-2010. (Tesis de Contadora). Universidad de Cuenca, Cuenca.
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2010). Estimación de la Densidad Poblacional del Ecuador Continental. https://www.ecuadorencifras.gob.ec/Analitika/Descargas/Estimacion_de_la_densidad_poblacional_del_ecuador_continental.pdf
- Vergara, Ellis, Cruz et al. (2011). La conceptualización de las inundaciones y la percepción del riesgo ambiental *Revista Scielo* (36), 45-69. <http://www.scielo.org.mx/pdf/polcul/n36/n36a3.pdf>

Dirección de Generación de Geoinformación Agropecuario. (2020, 9 de enero). Geoportal del Agro Ecuatoriano. <http://geoportal.agricultura.gob.ec/>

Servicio Nacional de Contratación Público. (2021, 19 de abril). "Servicio De Alquiler De Vehículos De Transporte Comercial De Carga Pesada, Incluido Conductor (No Incluye Estibaje)" - Modalidad 2 (Transporte de acero, cemento, material de construcción y otros similares). https://portal.compraspublicas.gob.ec/sercop/wp-content/uploads/2017/01/servicio_transporte_carga_pesada_materiales_de_construccion.pdf

Instituto Nacional de Investigación Agropecuario (INIAP). (s.f). Banano, plátano y otras musáceas. <http://www.iniap.gob.ec/> .