



Universidad  
Nacional  
de Loja

# Universidad Nacional de Loja

## Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos

### Naturales No Renovables

#### Maestría en Electricidad Mención Sistemas Eléctricos de Potencia

#### Planificación de Parques Eólicos en la Región Sur de Ecuador mediante Sistemas de Información Geográfica

Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de Magíster en Electricidad, Mención Sistemas Eléctricos de Potencia.

#### **AUTOR:**

Ing. Cristian Javier Illescas Astudillo

#### **DIRECTORES:**

Ing. Christian Hernán Campoverde Ramírez, Mg.Sc.

Ing. Estali Granda Mora, Mg.Sc.

Loja, Ecuador

2022

## Certificación

Loja, 24 de octubre de 2022

Ing. Christian Hernán Campoverde Ramírez, Mg.Sc.

**DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

Ing. Estali Granda Mora, Mg.Sc.

**DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

### **Certifico:**

Que he revisado y orientado todo proceso de la elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **Planificación de Parques Eólicos en la Región Sur de Ecuador mediante Sistemas de Información Geográfica**, previo a la obtención del título de **Magíster en Electricidad, Mención Sistemas Eléctricos de Potencia**, de la autoría del estudiante **Cristian Javier Illescas Astudillo**, con cedula de identidad N° **1103000517**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja para el efecto, autorizo la presentación para la respectiva sustentación y defensa.

Ing. Christian Hernán Campoverde Ramírez, Mg.Sc.,

**DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

Ing. Estali Granda Mora, Mg.Sc.

**DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

## **Autoría**

**Yo, Cristian Javier Illescas Astudillo**, declaro ser autor del Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Titulación en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

**Firma:**

**Cédula de Identidad:** 1103000517

**Fecha:** 28/10/2022

**Correo electrónico:** cristian.illescas@unl.edu.ec

**Teléfono:** 0986593244

**Carta de autorización por parte del autor, para la consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica de texto completo, del Trabajo de Titulación.**

Yo, **Cristian Javier Illescas Astudillo** declaro ser autor del Trabajo de Titulación denominado: **Planificación de Parques Eólicos en la Región Sur de Ecuador mediante Sistemas de Información Geográfica**, como requisito para optar el título de **Magíster en Electricidad, Mención Sistemas Eléctricos de Potencia**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los veintiocho días del mes de octubre del dos mil veintidós.

**Firma:**

**Cédula de Identidad:** 1103000517

**Dirección:** Av. Salvador Bustamante Celi, Urbanización Estancia del Río

**Correo electrónico:** cristian.illescas@unl.edu.ec

**Teléfono:** 0986593244

**DATOS COMPLEMENTARIOS:**

**Directores de Trabajo de Titulación:** Ing. Christian Hernán Campoverde Ramírez, Mg.Sc., e Ing. Estali Ramiro Granda Mora, Mg.Sc.

## **Dedicatoria**

A mi bella esposa Katherine, que ahora es mi Ángel dedico este trabajo, perdóname por robarte tantos fines de semana que debimos estar juntos, ahora desde el cielo sé que me acompañas en todo momento, a mis hijos: Sebastián, Christopher, Vitya y en especial a ti mi pequeño MILAGRO Aleksandr, por mantenerme en pie y seguir afrontando los designios de Dios, sin ustedes la vida ya no tendría sentido; a mi hermana Verónica, mi ángel en la tierra por siempre estar allí en los momentos más difíciles.

*Cristian Javier Illescas Astudillo*

## **Agradecimiento**

Agradezco a todos los docentes de la maestría, gracias por impartir sus conocimientos sin ningún recelo, a mis compañeros de maestría, sobre todo a mis compañeros de grupo, en especial a Gabriel y Jackson por animarme a continuar en la maestría a pesar de los dolorosos momentos que pase con la muerte de mi esposa.

A mis directores de Trabajo de Titulación que tengo el gusto de llamarlos amigos, gracias Christian y Estali por apoyarme en este trabajo, sin su ayuda y conocimiento no lo hubiese logrado.

A los directivos del programa de maestría, gracias por su apoyo. En general quiero expresar mi agradecimiento a todas las personas que de una u otra manera me han impulsado a seguir adelante, y que sin su ayuda este trabajo no hubiese culminado.

*Cristian Javier Illescas Astudillo*

## Índice de contenido

<b>Portada</b> .....	<b>i</b>
<b>Certificación</b> .....	<b>ii</b>
<b>Autoría</b> .....	<b>iii</b>
<b>Carta de autorización</b> .....	<b>iv</b>
<b>Dedicatoria</b> .....	<b>v</b>
<b>Agradecimiento</b> .....	<b>vi</b>
<b>Índice de contenidos</b> .....	<b>vii</b>
Índice de tablas .....	ix
Índice de Figuras .....	x
Índice de Anexos .....	xi
<b>1. Título</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Resumen</b> .....	<b>2</b>
2.1 Abstract.....	2
<b>3. Introducción</b> .....	<b>4</b>
<b>4. Marco teórico</b> .....	<b>8</b>
4.1 Sistema de Información Geográfica –SIG- .....	8
4.1.1 Elementos de un SIG.....	8
4.1.2 Funciones de un SIG .....	8
4.1.3 Operaciones y análisis de datos en los SIG.....	8
4.1.4 Evaluación Multicriterio .....	9
4.1.5 Componentes de una evaluación multicriterio en entornos SIG.....	9
4.2 Energías Renovables.....	9
4.2.1Energías renovables alternativas por fuentes no convencionales .....	10
4.2.2Energía eólica .....	10
4.2.3Parque eólico.....	10
4.2.4 Método para localización óptima de centrales de energías renovables.....	10

4.2.5	Estudio de localización de un parque eólico offshore en la costa asturiana mediante análisis multicriterio .....	12
4.2.6	Aplicación de un modelo de decisión multicriterio para la implantación de energías renovables en un sistema energético.....	12
4.2.7	Planificación de parques eólicos mediante sistemas de información geográfica y algoritmos genéticos.....	12
4.2.8	Evaluación y caracterización de las zonas incompatibles con la implantación eólica en Andalucía mediante la aplicación de un modelo locacional con Sistemas de Información Geográfica y Técnicas de análisis multicriterio.....	12
4.3	Evaluación del potencial eólico de una zona geográfica mediante un Atlas eólico y sistemas de información geográfica.....	13
4.4	Generalidades de la determinación de áreas de generación eólica .....	14
4.5	Metodología de evaluación de zonas con potencial eólico .....	15
<b>5.</b>	<b>Metodología .....</b>	<b>16</b>
<b>6.</b>	<b>Resultados .....</b>	<b>21</b>
<b>7.</b>	<b>Discusión .....</b>	<b>27</b>
<b>8.</b>	<b>Conclusiones... ..</b>	<b>28</b>
<b>9.</b>	<b>Recomendaciones .....</b>	<b>29</b>
<b>10.</b>	<b>Bibliografía .....</b>	<b>30</b>
<b>11.</b>	<b>Anexos .....</b>	<b>33</b>

## Índice de tablas:

<b>Tabla 1.</b> Estaciones meteorológicas incluidas en el presente trabajo .....	17
<b>Tabla 2.</b> Criterios a tomar en cuenta para la implantación de parques eólicos .....	23
<b>Tabla 3.</b> Principales impactos ambientales de los proyectos eólicos .....	24

## Índice de Figuras:

<b>Figura 1.</b> Capacidad instalada energía eólica 2021.....	10
<b>Figura 2.</b> Parque Eólico Villonaco.....	11
<b>Figura 3.</b> Ubicación espacial de la provincia de Loja.....	16
<b>Figura 4.</b> Ubicación de estaciones meteorológicas en la provincia de Loja .....	17
<b>Figura 5.</b> Procedimiento general .....	21
<b>Figura 6.</b> Vías.....	22
<b>Figura 7.</b> Velocidad del viento.....	23
<b>Figura 8.</b> Red de media tensión.....	24
<b>Figura 9.</b> Sitios donde existen mejores vientos.....	25
<b>Figura 10.</b> Sitio ideal para proyectos Eólicos (cantón Loja).....	26

## Índice de anexos:

<b>Anexo 1.</b>	Pendiente del Terreno en Ecuador .....	33
<b>Anexo 2.</b>	Velocidad Media Anual del Viento a 80 m de Altura sobre el Suelo .....	34
<b>Anexo 3.</b>	Densidad de Potencia Media Anual del Viento a 80 m. ....	35
<b>Anexo 4.</b>	Velocidad Media Mensual del Viento a 80 m de Altura sobre el suelo (enero – junio) .....	36
<b>Anexo 5.</b>	Velocidad Media Mensual del Viento a 80 m de Altura sobre el suelo (julio – diciembre) .....	37
<b>Anexo 6.</b>	Velocidad Media Anual del Viento a 80 m de Altura sobre el Suelo .....	38
<b>Anexo 7.</b>	Potencial Bruto de Energía Eólica en Ecuador .....	39
<b>Anexo 8.</b>	Potencial Eólico Factible a Corto Plazo.....	40
<b>Anexo 9.</b>	Infraestructura eléctrica en el área de concesión de la EERSSA .....	41
<b>Anexo 10.</b>	Uso general actual del suelo en la provincia de Loja.....	42
<b>Anexo 11.</b>	Área de bosque y vegetación protectora de la provincia de Loja .....	43
<b>Anexo 12.</b>	Ecosistemas Continentales de la provincia de Loja .....	44
<b>Anexo 13.</b>	Orografía de la provincia de Loja .....	45
<b>Anexo 14.</b>	Atractivos turísticos .....	46
<b>Anexo 15.</b>	Red vial provincial por tipos de vía .....	47
<b>Anexo 16.</b>	Ecosistemas Terrestres.....	48
<b>Anexo 17.</b>	Captura de imagen de Global Wind Atlas de la zona de estudio .....	49
<b>Anexo 18.</b>	Patrimonio de Áreas naturales del estado y bosques protectores.....	50
<b>Anexo 19.</b>	Densidad Poblacional a nivel parroquial .....	51
<b>Anexo 20.</b>	Geoportal EERSSA.....	52
<b>Anexo 21.</b>	Certificado de traducción de resumen.....	52

## **1. Título**

**Planificación de Parques Eólicos en la Región Sur de Ecuador mediante Sistemas de Información Geográfica**

## 2. Resumen

A lo largo de este documento se propone una metodología cuyo objetivo es el de identificar el lugar óptimo de instalación de un parque eólico en el sur de Ecuador. Para conseguir los objetivos planteados, se combina el análisis multicriterio con las aplicaciones que proporciona el Sistema de Información Geográfica. El documento está constituido por: la base teórica en la que se sustentan los procesos implementados, la secuencia en la que se llevan a cabo los procesos y los resultados alcanzados.

La selección del sitio se logró a través de un análisis espacial en el que las variables identificadas para la instalación de un parque eólico se clasificaron como limitantes o circunstancias, según sea el impacto que podrían provocar. Luego, estos criterios se evalúan, marcan y ponderan para cada criterio; seguido de la suma de los pesos ponderados, un proceso de álgebra de mapas y una alternativa adecuada para elegir la mejor ubicación.

### **Palabras claves:**

*Análisis espacial, sistema de información geográfica (SIG), metodología, parque eólico*

## 2.1 Abstract

Along this document, a methodology whose objective is to identify the southern Ecuador wind farm optimal placement, is proposed. In order to achieve the stated objectives, it is applied multicriteria analysis together with geographic information system provided tools. The document is structured by: the theoretical knowledge on which the implemented processes are based, the carried-out sequence processes, and the achieved results.

The optimal placement selection was achieved through a spatial analysis in which wind farm installation identified variables were classified as limitations or circumstances, depending on the potential impact. Then, these criteria are evaluated, scored, and weighted; followed by the individual factor's weights sum, a map algebra process, and a suitable alternative to choose the best location.

### **Keywords:**

*Spatial analysis, geographic information system (GIS), methodology, wind farm*

### 3. Introducción

El Ministerio de Energía y Minas de Ecuador ha impulsado el desarrollo de las energías renovables en el país, teniendo en cuenta el cumplimiento del Protocolo de Kioto y los problemas del calentamiento global. Con base en información del ex INECEL y del ex INE, a través de la Agencia de Energías Renovables y Eficiencia Energética, se han iniciado los trabajos preliminares para la estimación del potencial eólico del Ecuador y la búsqueda de mecanismos de financiamiento para la construcción de parques eólicos.

Muchas organizaciones internacionales participan en la cooperación técnica para estudios de viabilidad, estudios de viabilidad y actividades de difusión. En materia ambiental, las entidades involucradas en la gestión del área protegida (Galápagos) trabajaron de la mano con el inicio del primer proyecto de energía eólica desarrollado en la isla de San Cristóbal.

A fines de la década de 1990, el gobierno de Loya comenzó a cooperar con entidades españolas y el Ministerio de Energía y Minas. Se inició la instalación de la primera torre de medición de la velocidad del viento en Loja y monitoreo de la velocidad del viento (2003-2005). Ex ENERLOJA (Gobierno de Loja), la actual ENERSUR es la que inició y registró la primera información sobre el proyecto de energía eólica de Villonaco.

A partir de 2008, el Ministerio de Energía y Minas dejó de existir por decreto y se crearon dos ministerios: el Ministerio de Electricidad y Energías Renovables - MEER y el Ministerio de Recursos Naturales No Renovables. Desde su fecha de creación, el MEER ha retomado labores en el sector desaparecido y ha realizado varios trabajos para evaluar el potencial de la energía eólica en el Ecuador. Para evaluar la ubicación y la capacidad instalada de los parques eólicos, el MEER, con el apoyo del Banco Interamericano de Desarrollo, contrató a la consultora española AWS TRUEPOWER para producir el "Atlas Eólico de Ecuador". Este documento constituye la base para la creación de futuros estudios para la construcción de parques eólicos en el Ecuador.

La toma de decisiones es un proceso humano cotidiano, cada elección, por más improvisada que parezca, se realiza para lograr un objetivo, acompañada del análisis de variables que, aunque muchas veces no sean obvias, siempre inciden en los resultados alcanzados.

Determinar la ubicación de un punto para realizar cualquier actividad productiva en ese lugar es parte cotidiana de la toma de decisiones, y es aquí donde los sistemas de información geográfica juegan un papel vital, ya que gracias a esta oportunidad brindan datos geográficos para

realizar varios procesos geográficos, y utilizando un método alternativo para la selección, puede obtener respuestas objetivas a la pregunta: ¿Dónde encaja mejor?

La elaboración de este documento se basa en la incertidumbre actual respecto a la estabilidad del suministro de los servicios eléctricos y el posible uso de recursos naturales renovables, más específicamente, la energía eólica, en el sur del Ecuador para reducir dicha incertidumbre.

Durante los últimos 20 años, se han propuesto varios métodos para determinar la ubicación ideal de los parques eólicos. En los últimos años, gracias a los avances tecnológicos, el desarrollo y el uso generalizado de herramientas geográficas, ha sido posible integrar métodos de toma de decisiones en el entorno SIG.

Cada proyecto, teniendo en cuenta sus especificidades y las características del área de ejecución prevista, tiene variables que finalmente determinarán su viabilidad. El análisis, manejo e interpretación de estas variables determinan en última instancia un resultado exitoso; por lo tanto, no es posible repetir un enfoque probado en otra sala sin antes hacer algunos cambios para adaptarlo a la nueva dirección de estudio.

El uso del flujo de aire junto con mecanismos de ventaja mecánica, como las palas de las turbinas eólicas actuales, tiene una larga historia. Los desarrollos en los sistemas de energía eólica han aumentado su eficiencia y han agregado equipos avanzados como frenos, aspas giratorias a velocidades de viento muy bajas y, lo que es más importante, sus precios han bajado. La fácil implementación de generadores relativamente baratos hace que su uso sea intensivo. La dificultad actual para implantar un parque eólico es su ubicación.

La ubicación óptima actual de los aerogeneradores debe determinarse en función de la cantidad de viento que existe en el área donde se ubicará el proyecto y la duración de esos vientos durante todo el año. Si el viento es fuerte, el generador tendrá problemas mecánicos. Si el viento es malo, el generador no funcionará bien, y también si el viento es bajo durante el año, no producirá suficiente energía.

También se debe considerar la optimización del sitio, elegido de acuerdo con sus características de viento deseadas, teniendo en cuenta la proximidad de la red de distribución más cercana y la población objetivo para la cual se utilizará la energía para el desarrollo económico. Este trabajo trata de proponer un método para determinar de manera efectiva la ubicación óptima del parque eólico bajo las premisas anteriores. La provincia de Loja se caracteriza por tener fuentes

de energía renovables, como las masas de aire que circulan en forma de viento y son de calidad muy aceptable durante todo el año, y se consideran candidatas potenciales para la implantación de parques eólicos en estas zonas.

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

Evaluar el potencial eólico en la zona Sur de Ecuador por medio de una metodología que integre los Sistemas de Información Geográfica y los Métodos de Decisión Multicriterio.

### **Objetivos específicos**

- Desarrollar una metodología para identificar y evaluar zonas con potencial eólico en la zona Sur de Ecuador en la cual se integren los SIG con Métodos de Decisión Multicriterio.
- Determinar las áreas para implementar proyectos de generación eólica en la zona Sur de Ecuador mediante un modelo espacial a través de un SIG y clasificarlas según su idoneidad por medio de un MDMC (Métodos de Decisión Multicriterio).
- Estimar el potencial eólico disponible en la zona Sur de Ecuador considerando datos de rendimiento de una turbina de viento y limitaciones topográficas, técnicas y ambientales.

## **4. Marco teórico**

### **4.1 Sistema de Información Geográfica –SIG-**

ESRI (2022) explica que los sistemas SIG son herramientas que muestran y analizan información espacial ocupando un análisis geográfico que ayuda a tomar decisiones. Adicionalmente The National Center for Geographic Information Analysis (2022) refuerza esa definición diciendo que los sistemas de información geográfica integran a más de hardware, el software y la data para manipular espacialmente cierta información referenciada. Sarría, Gomariz & Cánovas (2012) enfatizan que los SIG son particularidades de un sistema de información con coordenadas espaciales que resultan en proyecciones de mapas

Los sistemas de información geográfica tienen una versatilidad que se adapta a muchas disciplinas y resuelven problemas espaciales usando una metodología propia (Lantada & Núñez, 2002). Los SIG siempre usan datos espaciales y bases de datos. Gómez y Barredo (2006) explican que dichos datos contienen localización espacial y recalcan que los datos espaciales no son los únicos manejados por los SIG.

#### **4.1.1 Elementos de un SIG**

Los sistemas de información geográfica se componen de hardware, software y datos. El Hardware es la parte mientras que el software manipula y opera datos espaciales y de otro tipo y arroja resultados como respuestas a problemas dados. Los SIG permiten responder preguntas a problemas espaciales propuestos (Lantada & Núñez, 2002).

#### **4.1.2 Funciones de un SIG**

Gómez y Barredo (2006) afirman que el análisis espacial básico que opera un SIG esta dado por cierto flujo operacional que maneja un data input, la gestión de la data ingresada, la manipulación de los datos haciendo que estos se transformen y por último una salida de datos como información. El data input edita y permite visualizar la información mientras que los datos se gestionan, transforman y permiten ser analizados para nuevamente poderlos visualizar en una salida.

#### **4.1.3 Operaciones y análisis de datos en los SIG**

Los autores Gómez y Barredo (2006) señalan que a más del ingreso de datos, las operaciones espaciales que un SIG realiza son el mantenimiento, recuperación y análisis de información temática y espacial. Posteriormente se realiza antes de la salida de datos un análisis de la data y la modelación espacial.

#### **4.1.4 Evaluación Multicriterio**

Niekerk y Voogd (1999) sostiene que las técnicas usadas en evaluaciones multicriterio tiene como finalidad tomar decisiones teniendo algunas alternativas y criterios para un conflicto determinado. Carver (1991) complementa el concepto anterior explicando que una evaluación multicriterio permite analizar la complejidad de algunas alternativas a seleccionar mediante el uso de herramientas matemáticas y optimización. Martínez y Escudey (1998) definen claramente a esta selección de alternativas procedente del análisis multicriterio como una relación entre una función objetivo a ser maximizada y un conjunto de alternativas factibles

#### **4.1.5 Componentes de una evaluación multicriterio en entornos SIG**

Los objetivos definen la función a desarrollar y contienen las preferencias para la toma de decisiones, las alternativas representan un sitio individual con ciertas características. Los criterios conforman una sobre la cual se decide y podrían ser limitantes de la evaluación multicriterio ya que afectan de una manera muy significativa a los objetivos antes mencionados (Eastman , Weigin, Kyem, & Toledano, 1995).

Los limitantes son criterios de restricción a un objetivo usan una regla de decisión para evaluar cierta función que define algunas alternativas. Esta evaluación contiene operaciones que analizan las reglas de decisión anteriores. Esta evaluación es puesta en forma matricial para representar ciertas relaciones que se dan entre criterios y alternativas obteniendo un par de comparaciones llamadas juicios (Ordóñez, Cabrera-Barona, & Quentin, 2014).

## **4.2 Energías Renovables**

La energía renovable se obtiene de recursos naturales renovables, sus fuentes contienen una inmensa cantidad de energía y se regenera naturalmente, además que no consume recursos y no contamina. Según el tipo de fuente de la que se obtiene esta energía se puede hablar de fuentes ha

fuentes convencionales y no convencionales. Las fuentes convencionales contienen las fuentes de energía que utilizadas de intensivamente como carbón, gas natural y el petróleo (Castells, 2012).

#### 4.2.1 Energías renovables alternativas por fuentes no convencionales

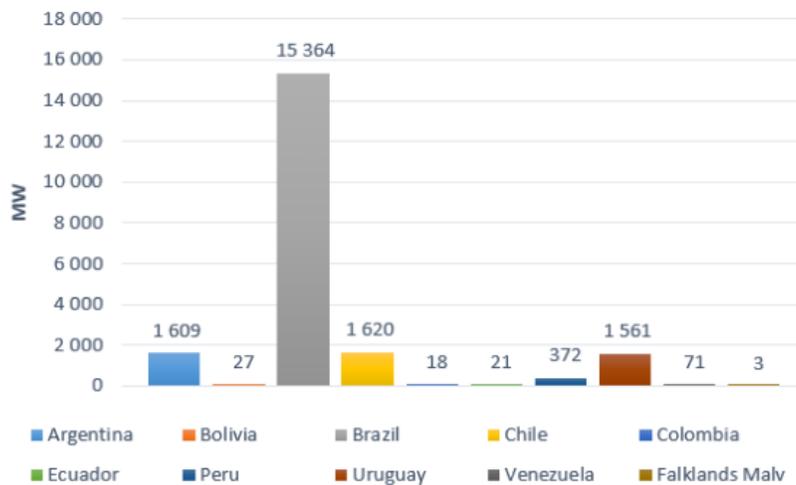
Las fuentes no Convencionales de energía renovable tiene disponibilidad mundial siendo sostenibles pero estas fuentes se usan arginalmente ya que su comercialización es escasa. Algunoas de los sietemas energéticos usados son la energía resultante de la biomasa, geotermia, yenergía solar (Castells, 2012).

#### 4.2.2 Energía eólica

Es aquella energía que se produce por acción de los vientos. Se clasifica como fuente de energía renovable y se usa principalmente para la generación de energía eléctrica mediante mecanismos llamados generadores eólicos en donde ocurre una transformción de la energía cinética de las masas de aire hacia energía mecánica y posteriormente ahacia energía eléctrica (Castells, 2012).

**Figura 1.**

*Capacidad instalada energía eólica 2021*



Fuente: Electricity Stadistics (IRENA)

#### 4.2.3 Parque eólico

Un parque eólico es un sitio muy específico en el cual se realiza el aprovechamiento de la energía eólica proveniente de los recursos de viento de la zona. Un parque eólico tiene por meta generar energía eléctrica usando generadores eólicos de potencia nominal. La capacidad de generación de cierto parque será la suma de las capacidades potenciales que tiene cada generador eólico que conforma el parque. Cada generador está interconectado con los demás mediante redes de conexión y el parque se conecta a la red de distribución mediante la transformación de la tensión de la corriente (Castells, 2012).

**Figura 2.**

*Parque Eólico Villonaco*



*Fuente: CELEC Unidad de Negocio GENSUR.*

#### **4.2.4 Método para localización óptima de centrales de energías renovables**

Fernandez (2011) sugiere una metodología para la localización de centrales de generación eólicas y solares que usa una evaluación multicriterio con el método Promethee mediante el software GAIA. Los criterios usados en la evaluación multicriterio toman en cuenta el factor de planta, vías de acceso, distancia de conexión, costo marginal de la conexión, capacidad futura y acceso a puertos.

#### **4.2.5 Estudio de localización de un parque eólico offshore en la costa asturiana mediante análisis multicriterio**

Caballero-González y García-Cascal (2018) usan el análisis multicriterio para la localización de un parque eólico combinando metodologías AHP (Analysis Hierarchic Proces) y TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution). Sus criterios de análisis incluyen impactos ambientales y sociales potencialmente sobre las poblaciones próximas a la zona de instalación. El insumo usado son mapas de zonificación ambiental.

#### **4.2.6 Aplicación de un modelo de decisión multicriterio para la implantación de energías renovables en un sistema energético**

Frías (2014) aplica un modelo de decisión multicriterio para la implantación de energías renovables en un sistema energético usando un modelo de análisis multicriterio sobre las tecnologías de generación energética de fuentes renovables (carbón, gas, nuclear, biomasa, eólica, solar fotovoltaica, hidráulica y geotérmica), tomando como sus criterios de análisis los factores ambientales, sociales y económicos. El autor basa su análisis en información estadística; en su propuesta el modelo no contempla la inserción de un sistema de información geográfica, lo cual es un contra. Sin embargo, todo el análisis estadístico y la información fuente de los datos constituyen un gran insumo a la hora de organizar y modelar la información que se tiene de cada uno de los criterios de evaluación.

#### **4.2.7 Planificación de parques eólicos mediante sistemas de información geográfica y algoritmos genéticos**

Falces (2015) presenta una metodología que combina la programación de un algoritmo genético con un SIG para determinar la posición óptima de un conjunto de aerogeneradores, el autor usa el criterio de análisis la producción energética anual esperada y rezaga otros criterios relacionados con el ambiente y sociedad.

#### **4.2.8 Evaluación y caracterización de las zonas incompatibles con la implantación eólica en Andalucía mediante la aplicación de un modelo locacional con Sistemas de Información Geográfica y Técnicas de análisis multicriterio**

Díaz-Cuevas y Pita López (2015) no proponen lugares para instalar parques sino que lugares donde ya han sido instalados aerogeneradores y en ellos ponen a consideración las limitaciones territoriales que existen y que no fueron tomadas con la importancia que merecían durante las etapas de diseño del proyecto. Los autores evalúan y localizan, mediante SIG usando la técnica de Evaluación Multicriterio. Este documento amplió la perspectiva acerca de cómo deben ser calificados los criterios, ya que, durante la vida útil, o fase de operación, de un parque eólico es posible distinguir cuáles son sus impactos y con esto es posible modelar escenarios donde dichos impactos sean reducidos o eliminados, teniendo en cuenta las características bióticas, abióticas, socioculturales y técnicas de cada territorio.

#### **4.3 Evaluación del potencial eólico de una zona geográfica mediante un Atlas eólico y sistemas de información geográfica**

González, Serrano, Morilla & Serrano (2011) y también los autores Sedaghat, Hassanzadeh y Jamali (2017) explican que la metodología para obtener una valoración de la cantidad y calidad de corrientes de aire en una zona específica es variada. Los métodos de valoración *in situ* son generalmente costosos. Katinas, Gecevicius y Marciukaitis (2018) hablan de que una forma alternativa es la de predecir y establecer un cálculo la la magnitud de las corrientes usando patrones de circulación global del viento que existen para muchas regiones y que expresan su densidad y su velocidad.

Novaes, Araújo & Bouchonneau da Silva (2018) y Di Tommaso, Genduso, Miceli & Ricco (2012) concuerdan que los modelos que usan SIG estiman una distribución espacial de los generadores óptima y que depende de su densidad, el planteamiento de la distribución de cada generador es afectada por las láminas de viento que la turbulencia genera al pasar por el parque eólico. Will (2018); Alismail, Xiong & Singh (2017) y Huang, Cheng, Peng & Li (2018) afirman que la energía eólica que se genera debe ser continua y además transportarse a una subestación eléctrica cercana así que la estimación inicial del valor de la cantidad de viento y su densidad deben ser muy concretas y acertadas, la orografía y la vegetación del lugar reducen la carga de viento y causan turbulencia

La ventaja del uso del Atlas eólico de MEER (2014) radica en que categoriza los diversos lugares que tienen corrientes de viento óptimas, que además están ya estimadas y que permiten analizar orografía y vegetación (englobadas como rugosidad) y ser parte del criterio de selección

de la zona donde se podrían asentar los generadores. MEER (2014) ofrece la siguiente información eólica: velocidad media anual del viento, altura con respecto al nivel del mar de la densidad de la masa de aire y la persistencia de los flujos laminares de viento que en otras palabras se refiere a su dirección.

El Atlas eólico de MEER (2014) está integrado a los modelos de circulación global MesoMap y WindMap con resoluciones entre los 2500 a 200 metros respectivamente y con conexión a bases de datos históricas de National Center for Atmospheric Researchy US National Center for Environmental Prediction (Di Tommaso, Genduso, Miceli, & Ricco, 2012).

#### **4.4 Generalidades de la determinación de áreas de generación eólica**

Van Branteghem (2015) claramente expresa que el uso de la simulación dinámica de fluidos que contiene el Atlas eólico de MEER (2014) dentro de un programa SIG permite tener valores muy próximos a los reales de la velocidad y densidad del viento que al operarlos con capas de distribución espacial como restricciones, capas de generadores, rugosidad, líneas de transmisión, zonas geográficas delicadas como parques nacionales y áreas ecológicas, permiten obtener un diseño óptimo sobre un emplazamiento elegido.

Andrade, Morejon & Inga (2016) y Shakoor, Hassan, Raheem & Wu (2016) cuando hablan de la optimización sobre la ubicación del parque eólico, explican que los cluster de cada capa son tomados como ubicación y entrelazados con los demás puntos de las otras capas señalando las restricciones y aquellos lugares óptimos para los aerogeneradores. La operación en si es una sencilla solución de algoritmos (algunos con restricciones) entre las capas que se estén analizando en algún software SIG u otro programa de simulación que use solver. Una vez obtenidos los datos de ubicación y sus restricciones se debe proceder al estudio económico y financiero de la obra. El estudio económico incluirá los costos de los generadores óptimos a esos valores de viento/rugosidad, costos de transporte e instalación. El estudio financiero cubrirá el apalancamiento de la inversión: compra de terrenos y los flujos de los valores futuros expresados como actuales en valor.

Yan y Zhang (2014) detallan que las capas básicas que se deberían usar en la optimización de la ubicación de los aerogeneradores por lo menos deben ser las siguientes: distribución espacial de los aerogeneradores, rugosidad, velocidad/densidad de viento y capas de proximidad (líneas de transmisión y vías de acceso).

#### 4.5 Metodología de evaluación de zonas con potencial eólico

Existen algunos trabajos ya realizados en Ecuador y que tienen metodologías propias desarrolladas para la optimización de la ubicación de aerogeneradores en un parque eólico como el de Mejia (2018), Álvarez , Maldonado , Montaña & Tenechagua (2013) y Matute (2020). Existen otros trabajos internacionales que tienen metodologías propias y adaptadas como los de Verbel (2020), de Andres (2015), Díaz-Cuevas & Pita López (2015), Guerrero (2019), Obando (2017) y Hernandez (2016). Ambos tipos de trabajo, los de metodología propia o adaptada realizan algún análisis multicriterio del potencial eólico del emplazamiento usando variables ambientales y restricciones.

El presente trabajo presenta una adaptación de la metodología de Mejia (2018) sin el uso de MatLab. Las variables consideradas son un vector de velocidad de viento provisto por el Atlas eólico de MEER (2014) con forma  $V = [v_1, v_2 \dots v_M]$ , velocidad de viento del Atlas eólico de MEER (2014) con forma  $(xvi, yvi)$  y turbulencia  $R$ , además una capa de ubicación espacial de los aerogeneradores con de forma  $W = [w_1, w_2 \dots w_M]$  con dispersión geográfica  $(xwj, ywj)$ .

La optimización se hace por sumatoria para la variable que maneja el número de aerogeneradores  $\infty_i$  un valor de máxima velocidad para el generador  $(0, 1)$  llamada  $Z_i$ . La variable  $Z_i$  se opera con la máxima velocidad para cada generador  $Y_j$  en un punto de intersección de capa (teóricamente libre de turbulencia  $R$ ) llamado  $S_{ij}$ . El planteamiento de la operación de capas adaptado de Mejia (2018) queda de la forma:

$$\min \sum_{i=1}^M Z_i \text{ además } v. t. Y_j = \sum_{i=1}^M Z_i ; \forall j \in W$$

$$\sum_j^N X_{ij} \leq Z_i ; \forall i \in V \text{ además } X_{i,j} \leq \alpha_i Z_i \in V, \forall j \in W$$

## 5. Metodología

### Área de Estudio

La provincia de Loja se encuentra ubicada al Sur de la región Interandina de la república del Ecuador y tiene una extensión aproximada de 11000 km<sup>2</sup>. Cuenta con aproximadamente medio millón de habitantes. Acorde a INEC (2022) su consumo eléctrico per cápita en sus regiones urbanas es de aproximadamente entre 90-148 Kw/h mientras que su consumo eléctrico per cápita en sus regiones rurales es de aproximadamente entre 88-155 Kw/h. Loja fue pionera en la generación eléctrica en el Ecuador y actualmente su parque eólico de Villonaco genera nominalmente 16,5 MW y estudios de Ayala (2018) prevén su expansión entre 28 a 33 MW. La provisión eléctrica nacional proviene en un 92% de centrales hidroeléctricas.

**Figura 3.**

*Ubicación espacial de la provincia de Loja*



*Fuente: El Autor*

La provincia de Loja posee 20 estaciones meteorológicas que brindan información sobre variables climáticas como viento: velocidad y dirección. La mitad de estas estaciones tienen problemas de continuidad de datos recogidos en sus bases de datos así que su información no es completa. Algunos estudios citan que la provincia de Loja tiene la capacidad de generar más de 200 MW de potencia nominal con energía eólica en algunas localidades como Villonaco, Membrillo, Ventanas, Santiago y Chinchas (Álvarez , Maldonado , Montaña, & Tenechagua, 2014).

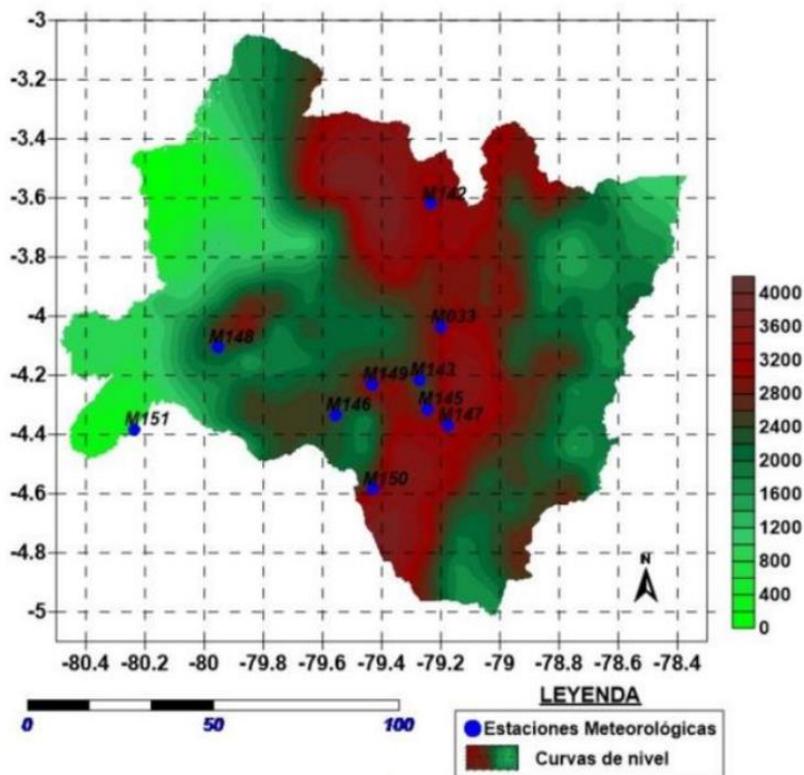
**Tabla 1.** Estaciones meteorológicas incluidas en el presente trabajo

LONG	LAT	ALT	CÓDIGO	NOMBRE
-79.2	-4.04	2160	M033	LA ARGELIA, LOJA
-79.23	-3.62	2525	M142	SARAGURO
-79.27	-4.22	1453	M143	MALACATOS
-79.24	-4.31	1560	M145	QUINARA, INAMHI
-79.55	-4.33	1950	M146	CARIAMANGA
-79.17	-4.37	1835	M147	YANGANA
-79.95	-4.1	1984	M148	CELICA
-79.43	-4.23	2042	M149	GONZANAMA
-79.43	-4.58	1672	M150	AMALUZA, INAMHI
-80.24	-4.38	223	M151	ZAPOTILLO

Fuente: INAMHI

**Figura 4.**

Ubicación de estaciones meteorológicas en la provincia de Loja



Fuente: INAMHI. El Autor

## **Procedimiento**

El diseño de investigación corresponde a un diseño no experimental con alcance descriptivo que analiza las operaciones entre capas con las restricciones dadas lo cual brinda una localización óptima para el parque eólico

Se utilizó el método descriptivo que analiza trabajos y metodologías que podrían servir para un uso adecuado en la región dado que aún se desconoce en algunos sitios cual es a versión de capa que se usa y su resolución.

Las capas se superponen usando un sistema de información geográfica y se realizan operaciones para puntos específicos que tienen valores ponderados máximos o mínimos para cada punto de interés. Los valores que se ponderan como máximos son para las capas de viento, se maximiza con valores superiores. Los valores que se ponderan como mínimos son para las capas de orografía y terreno con valores inferiores.

Los valores de ponderación funcionan automáticamente en el sistema de información geográfica y asignan valores superiores acorde a la proximidad a líneas de transmisión y subestaciones (entre 20 y 80 kilómetros). Asimismo, para la distancia a las carreteras, los valores ponderados mínimos consideran distancias mínimas de 1 kilómetro. Los valores de ponderación de la capa de relevancia ambiental calculan posibles impactos cualitativos (desde alto a bajo) por posibles alteraciones en sitios que ofrecen bienes y servicios ecosistémicos de importancia.

## **Capa de viento**

La base de datos que conformó la capa eólica (MEER, 2014) contiene las variables velocidad y densidad de viento que fue contrastada con los datos del Ministerio Energía y Recursos Naturales no Renovables (2022) que también usa datos de modelación de patrones de circulación global pero que toma en cuenta la rugosidad del terreno (orografía y vegetación) para altitudes entre 30 y 80 msnm, la capa excluye automáticamente sitios con altitudes mayores a 2999 msnm ya que no existen en la geografía de la provincia de Loja.

La capa de viento excluye velocidades mínimas nominales y máximas específicas necesarias para ciertos tipos de generadores eólicos. La capa usada presenta simplemente en el mapa geográfico las magnitudes y direcciones de las láminas de viento con las variables de velocidad y densidad.

## **Capas: orográfica y de terreno**

La base de datos que conformó la capa orográfica es una capa estándar de pendientes de la provincia de Loja. Existe una capa que contiene las ubicaciones de las subestaciones eléctricas, así como las líneas de distribución de media y alta tensión. Otra capa de terreno usada es la de vías de acceso principales, secundarias y terciarias de acceso. Además, existe una última capa que contiene sitios de relevancia ambiental como zonas o áreas protegidas y parques nacionales.

Las capas de suelo contienen variables relevantes como erosión del suelo, pendiente, cuerpos de agua, vías, zonas agropecuarias, cobertura vegetal, zonas ambientales delicadas y zonas de actividad económica como pueblos o ciudades.

## **Procesamiento y análisis de datos**

Para la jerarquización de la información de las capas, el sistema de información geográfica forma una matriz de normalización en donde se operan los criterios valorados y se contrastan con los encontrados ponderando por el valor del peso asignado y arrojando resultados. Existe una matriz operacional que maneja el sistema de información geográfica que opera dos matrices internas (la de concordancia y discordancia de los resultados de las capas) y que se llama matriz dominante, esta matriz indica la situación óptima a encontrar con respecto a la minimización y maximización deseada.

## **Métodos**

### ***El método científico***

Permitió adaptar las operaciones entre capas para poder encontrar un emplazamiento óptimo del parque eólico desde el punto de vista geográfico.

### ***Método analítico***

Es el que permitió dividir las partes de la investigación para analizarlas independientemente.

## **Técnicas**

### ***Simulación***

Esta técnica permitió analizar directamente la simulación corrida en el sistema de información geográfica entre las capas y contrastar las capas con pendientes menores a 20% con áreas de no relevancia ambiental y de mucho recurso viento en cantidad y calidad.

## 6. Resultados

### Descripción de Resultados

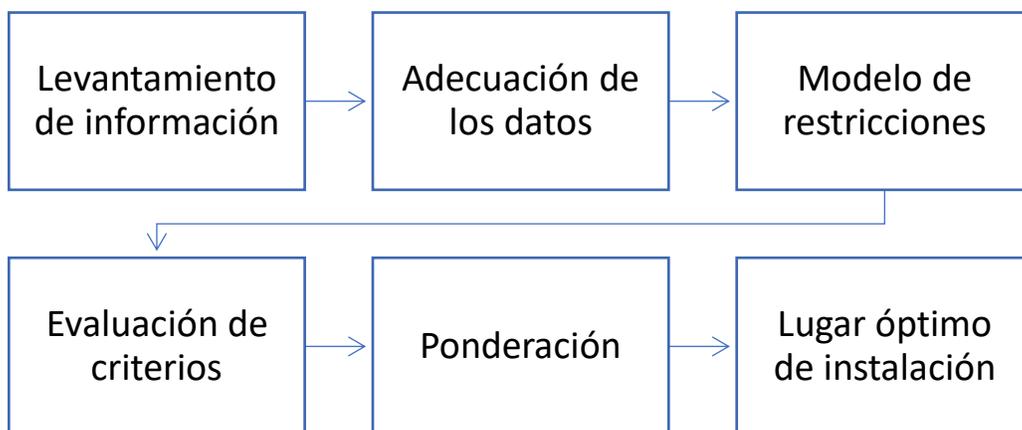
Los tipos de información resultantes tanto shape como raster son los siguientes:

- Centros de población
- Vías
- Reservas aborígenes
- Lagunas
- Curvas de nivel
- Ecosistema
- Áreas considerables para la protección de la avifauna
- Áreas de proyectos eléctricos con licencia
- Redes de media tensión
- Velocidad del viento

Esta información básica y sin procesar se almacena en la carpeta Entrada.

### Figura 5.

*Procedimiento general*



*Fuente: El Autor*

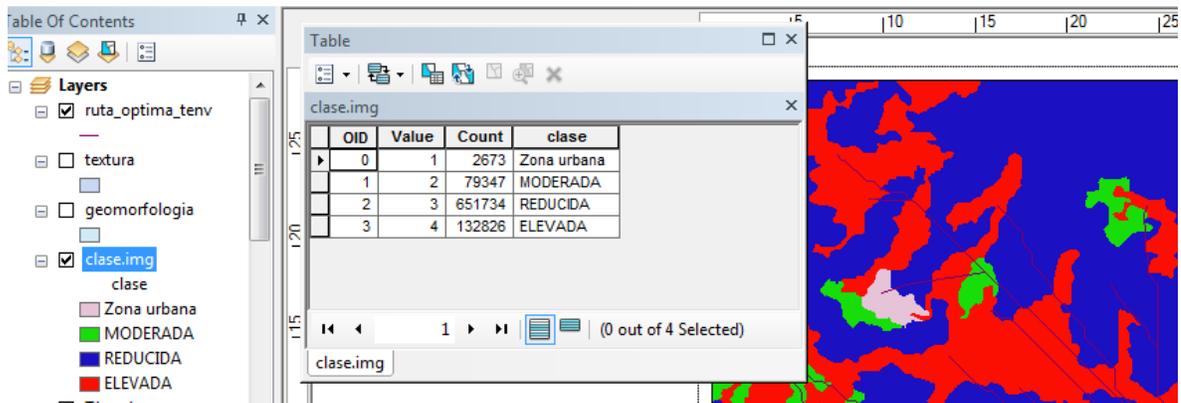
Los datos son a escala nacional, por lo que es necesario utilizar un corte para excluir todas las áreas excepto el área de estudio. Antes de este proceso, toda la información se proyectaba al mismo sistema de coordenadas: WGS84 Zona 17S. Aplique zonas de influencia a capas vectoriales de tipo línea que representen su área de influencia, siendo el objetivo principal convertir todas las capas vectoriales en capas de tipo polígono.

Gracias a las propiedades temáticas de las capas, se pueden realizar asociaciones entre ellas, reduciendo el número de capas sobre las que se trabaja de las primeras 10 capas a 6, las últimas capas y sus elementos constituyentes se enumeran a continuación:

- Centros de población
- Vías
- Curvas de nivel
- Ecosistema
- Redes de media tensión:
- Velocidad del viento

**Figura 6.**

*Vías*



*Fuente: software ArcGIS. El Autor*

Mientras se continúa con el proceso de determinar la mejor ubicación para instalar un parque eólico, aquí hay algunos consejos sobre dónde establecer restricciones de diseño.

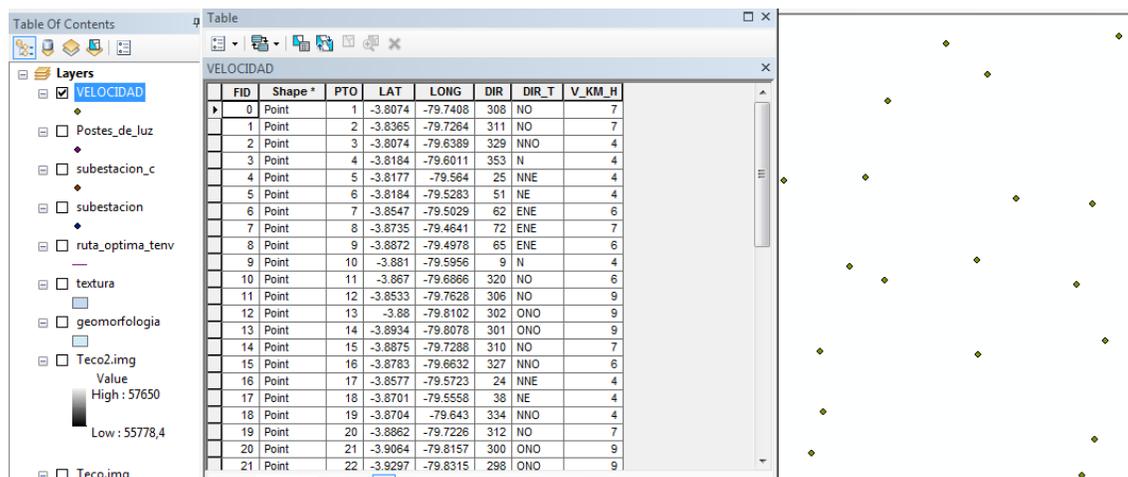
**Tabla 2.** Criterios a tomar en cuenta para la implantación de parques eólicos

<i>Implantación de parques eólicos</i>	
<i>TIPO</i>	<i>CRITERIO</i>
<i>PATRIMONIAL</i>	Espacios naturales protegidos (según tipo) y área de protección de aves (preservar la avifauna y el patrimonio natural)
	Vías pecuarias (preservar el patrimonio y garantizar la seguridad de los usuarios)
	Elementos del patrimonio arqueológico y cultural (preservar el patrimonio y garantizar la seguridad de los visitantes)
<i>PROTECCIÓN DE LA POBLACION</i>	Núcleos de población, edificaciones rurales y equipamientos de uso de la población (garantizar la seguridad de la población)
	Carreteras, caminos y líneas de ferrocarril (preservar el dominio público y garantizar la seguridad de los usuarios)
	Aeropuertos, antenas y zonas militares (evitar interferencias electromagnéticas y garantizar la seguridad)
<i>EFICIENCIA ENERGÉTICA Y TERRITORIAL</i>	Bosques (impedir una alta rugosidad del terreno con el fin de evitar posibles modificaciones del recurso eólico)
	Parques eólicos existentes (evitar posibles modificaciones del recurso eólico y accidentes)

Fuente: El autor

**Figura 7.**

*Velocidad del viento*

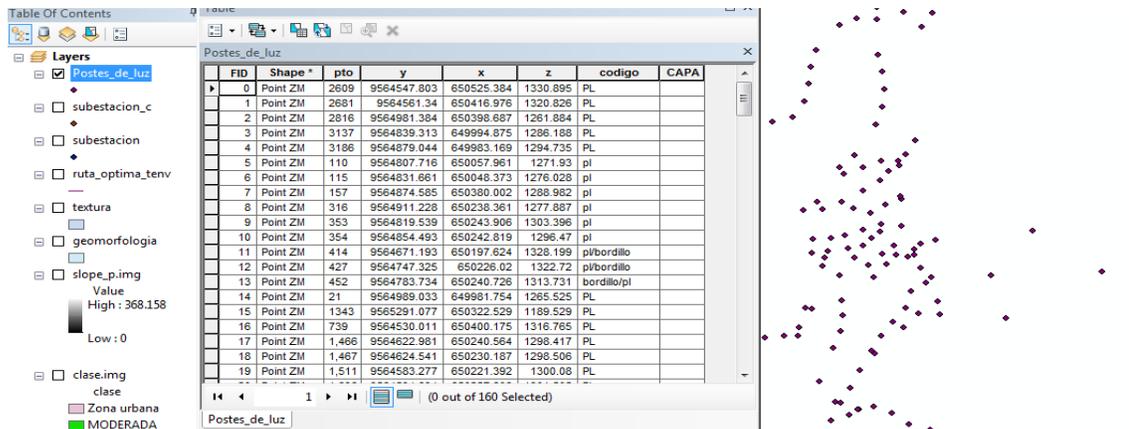


Fuente: software ArcGIS. El Autor

En este caso, se trata de una zona donde no se pueden realizar actividades para la instalación de un parque eólico por la cobertura o uso actual, o porque no es técnicamente posible o utiliza zonas incompatibles. Los territorios mencionados son los núcleos de población existentes en la provincia; red vial del área de estudio; áreas, países y territorios protegidos; áreas con proyectos, operaciones mineras, permisos de electricidad existentes y áreas por donde pasa el tendido eléctrico; y cubierto por un cuerpo de agua

**Figura 8.**

*Red de media tensión*



Fuente: software ArcGIS. El Autor

El producto es una capa ráster booleana, donde 0 representa celdas que tienen restricciones en el diseño del parque y 1 representa celdas que pueden desarrollar equipos. Este producto se obtiene luego de rasterizar la capa de restricción para que la unión de estas dos conexiones clasifique finalmente los valores de raster que dan un valor de entrada igual a 1 píxel con algún tipo de información y un valor de entrada igual a 0 píxeles vacíos.

**Tabla 3.** Principales impactos ambientales de los proyectos eólicos

Impactos Positivos	Reducción del consumo de agua en la producción de energía eléctrica
	Reducción de emisiones de contaminantes (CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> )
	Impactos socioeconómicos en las comunidades
Impactos Negativos	Impactos a la vida silvestre (principalmente a aves, murciélagos y algunos reptiles)
	Contaminación auditiva
	Impacto visual
	Cambios en el uso de la tierra
	Deforestación y erosión del suelo
	Cambios en el clima local

Fuente: Dai et al. (2015); Okkonen & Lehtonen (2015); Saidur et al. (2011); S. Wang & Wang (2015)

Para evaluar estos criterios, el siguiente paso en el desarrollo del método propuesto es la sumatoria ponderada, que asigna un peso o una ponderación a todos los criterios componentes. Además, también se definen criterios de evaluación

El proceso consiste básicamente en apilar múltiples rásteres para cada ráster usando una escala de medición y pesos comunes (según su importancia). En este caso, los criterios de evaluación son la pendiente, la zonificación del terreno y el ecosistema.

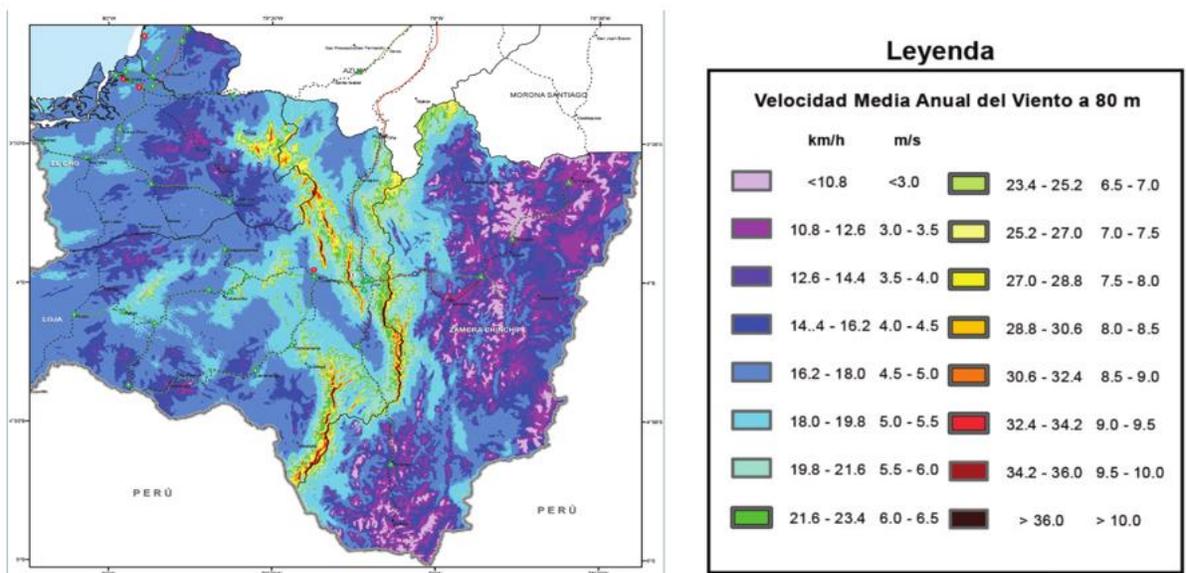
Finalmente, para determinar la mejor ubicación para el diseño del parque eólico, se multiplicaron los resultados del modelo de restricciones por el modelo de evaluación de criterios, y se relevaron y seleccionaron las áreas disponibles, resultando 5013 rellenos sanitarios con un área total de 1106570.56 hectáreas, distribuidas en toda la provincia.

Sin embargo, el 92% de estas áreas correspondían a extensiones menores a 10 hectáreas, por lo que se hizo una consulta para determinar dónde estaba el vertedero más grande y luego se creó un nuevo polígono que superaba las 10 hectáreas.

Finalmente, se seleccionaron los tres polígonos de mayor extensión, y de estos tres se tomó como el mejor lugar, el más cercano a Villonaco, Membrillo, Ventanas, Santiago y Chinchas, municipio que cuenta con la subestación eléctrica de mayor capacidad de la provincia de estas tres alternativas dos estaban ubicadas en el cantón Loja, y una en el cantón Catamayo.

**Figura 9.**

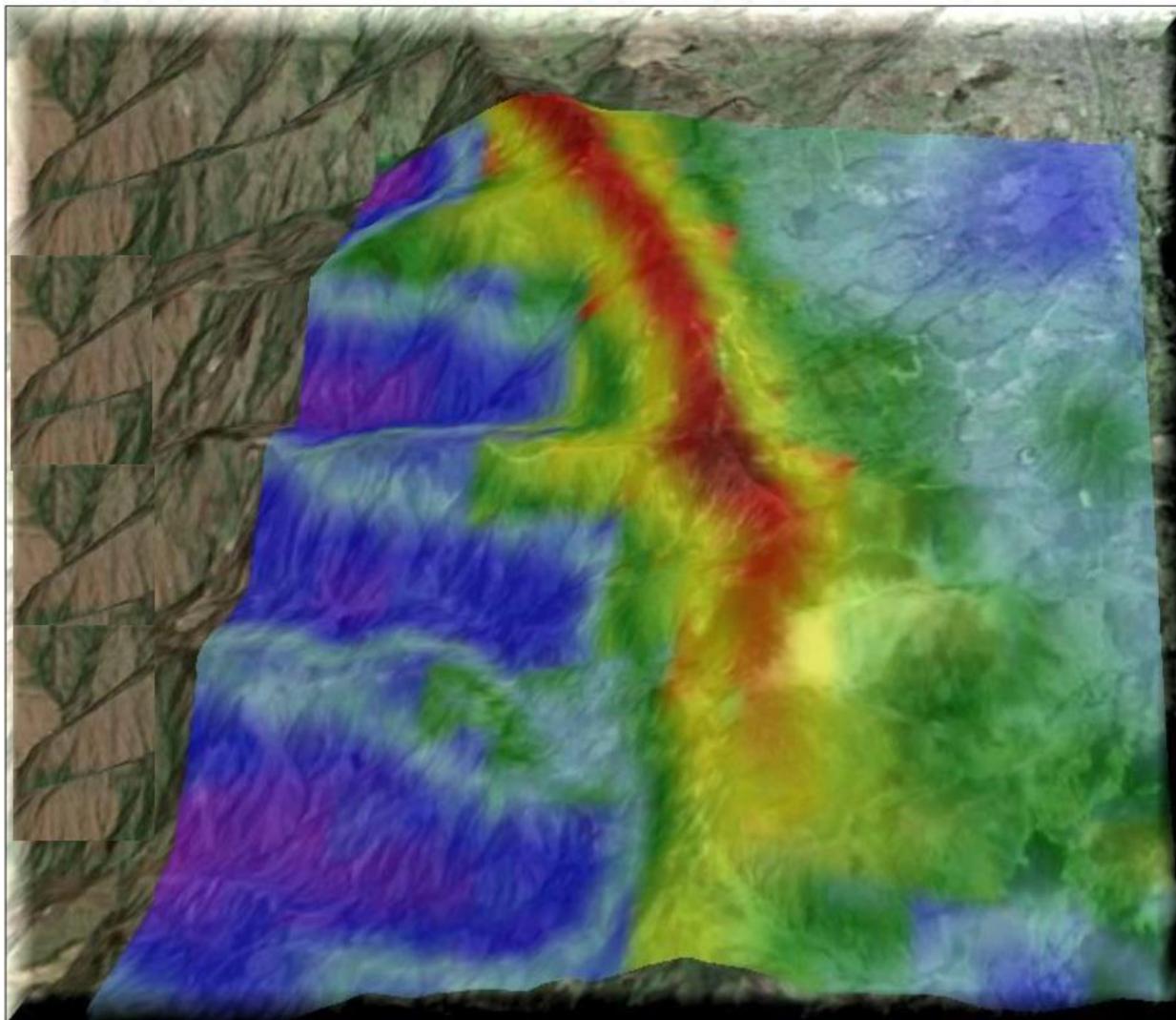
*Sitios donde existen mejores vientos*



Fuente: Atlas Eólico del Ecuador

**Figura 10.**

*Sitio ideal para proyectos Eólicos (cantón Loja)*



*Fuente: El Autor*

## 7. Discusión

El proceso de toma de decisiones es un proceso de selección encaminado a la consecución de una meta mediante la evaluación de los criterios que inciden en la consecución de dicha meta, que pueden tener un impacto positivo (factores) o negativo (limitante o restrictivo), por lo que su calificación se separa en el proceso.

Para determinar el área óptima de instalación de un parque eólico, la zonificación regional del uso del suelo, el ecosistema y la pendiente del área de estudio son factores tales como restricciones o restricciones, centros de población, redes viales, áreas protegidas, áreas con proyectos licenciados (minería, electricidad, ductos). o líneas de tensión) y áreas cubiertas por la superficie del agua.

Debido al amplio uso de SIG y diferentes capas de datos, los análisis se pueden realizar utilizando varios criterios de evaluación. Su carácter holístico permite ofrecer modelos y análisis espaciales que facilitan la selección de regiones con características especiales.

Y gracias a esta función, se pueden realizar operaciones matemáticas entre las capas ráster generadas con los datos originales. En un modelo restringido, las regiones con algún tipo de restricción tienen un valor de cero y las regiones sin restricciones tienen un valor de uno.

Todas las áreas cercadas se convierten en áreas únicas, mientras que aquellas que ganan 1 punto continúan el proceso y luego se superponen con los resultados de la evaluación estándar.

En el proceso de desarrollo, se generaron cuatro modelos utilizando la herramienta ModelImage del software ArcGis: suficiencia de datos, modelo de restricciones, evaluación de criterios y ubicación óptima; la creación y aplicación de estos modelos simplifica el proceso, al mismo tiempo que construye de forma gráfica e intuitiva las distintas fases del proyecto.

## 8. Conclusiones

El uso de energía eólica renovable para generar electricidad complementa otras fuentes de energía, especialmente la energía hidroeléctrica durante las sequías; además de reemplazar las fuentes tradicionales de energía termoeléctrica. Por lo tanto, los proyectos que utilicen estas fuentes de energía renovable diversificarán la matriz energética de Ecuador. En general, el país tiene suficientes recursos eólicos para generar electricidad. Con base en la información analizada, se puede concluir que la energía está disponible para la actividad comercial en la provincia de Loya. Un análisis multicriterio dio como resultado un mapa de áreas prioritarias para la ubicación final del parque eólico en la provincia de Roja, y se planteó la factibilidad de construcción a través de un análisis económico y considerando dos escenarios de precios de la energía. Sin embargo, siempre es necesario realizar actividades de medición en el sitio antes de decidir sobre la implementación del proyecto. Desde el punto de vista técnico, se debe considerar el fortalecimiento y mejoramiento de la red eléctrica en las áreas de implementación, las cuales están determinadas para su ubicación en áreas rurales con baja densidad de población y redes generalmente débiles.

La falta de condiciones de mercado dificulta definiciones tarifarias precisas para la comercialización de energía de proyectos de energía eólica, cuya factibilidad ha sido demostrada en este estudio. Por razones prácticas y en un esfuerzo por determinar la viabilidad económica del proyecto propuesto, se ha realizado un análisis de tarifas vigentes para las tecnologías analizadas en países donde la mayoría de las tecnologías y condiciones de mercado son muy similares a las nuestras.

Además, los estudios han demostrado que, dado el potencial de desarrollo de los proyectos de energías renovables, estos proyectos pueden tener un impacto positivo en el medio ambiente (reducción de emisiones), influyendo así en el despachador económico.

## 9. Recomendaciones

Si bien nuestro país se encuentra en una excelente posición para la producción de energía eólica, existe muy poca información disponible sobre la radiación y la velocidad del viento. Las estaciones meteorológicas se ubican principalmente en áreas urbanas y áreas de interés, como la Sierra de Villonaco, donde se implementa el Proyecto Eólico Villonaco, y otra zona donde se implementa el Proyecto Eólico Minas de Huascachaca. De hecho, tanto el atlas eólico de Ecuador como el atlas solar actual se crearon mediante simulación. Es por ello que para desarrollar proyectos de energías renovables es necesario conocer el potencial de este recurso a través de actividades de medición in situ. Este estudio proporciona un análisis multicriterio que da como resultado un conjunto de alternativas para las actividades de medición en la provincia de Loja.

Asimismo, diversos inversionistas (públicos o privados) necesitan comprender los beneficios técnicos, energéticos y económicos de implementar proyectos de generación eléctrica con tecnologías limpias en nuestro país. Por esta razón, es muy importante desarrollar un marco regulatorio apropiado para cada tecnología con incentivos para facilitar su adopción.

Cabe señalar que antes de la implementación del proyecto, será necesario realizar un estudio de impacto ambiental para cada ubicación, determinar el impacto de su ubicación y desarrollar medidas correctivas y preventivas para mitigarlo.

Al conectar el parque con el S.N.I. la evacuación de energía requiere simular el flujo de potencia, incluyendo todos los posibles escenarios de transmisión en las líneas a conectar, para evaluar el impacto de la central propuesta en el sistema.

## 10. Bibliografía

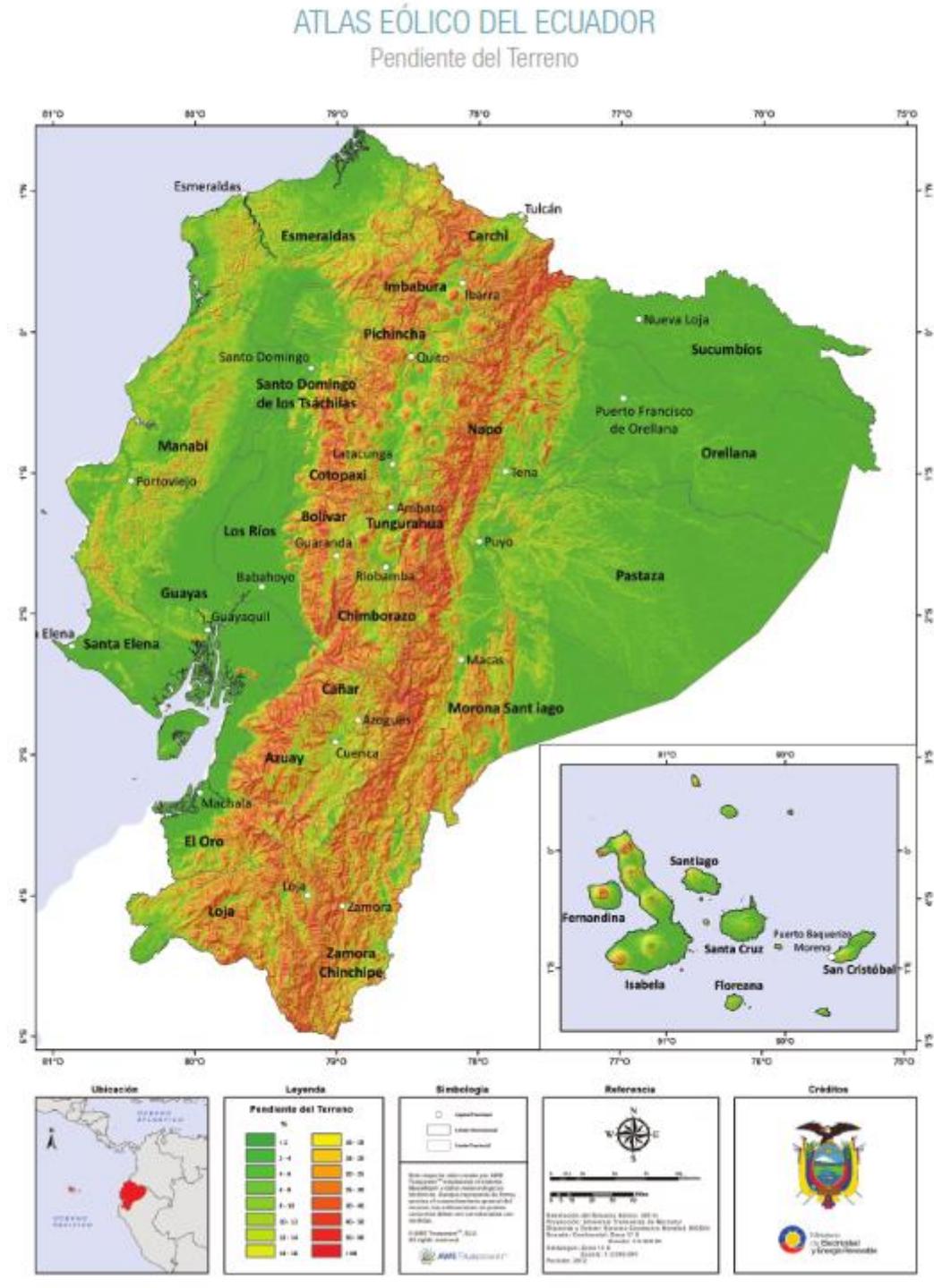
- Álvarez , O., Maldonado , J., Montaña, T., & Tenechagua, L. (2014). Análisis Climático de la Velocidad del Viento en la Región Sur del Ecuador. *Revista Politécnica*, 35(3), 1-7.
- Alismail, F., Xiong, P., & Singh, C. (2017). Optimal Wind Farm Allocation in Multi Area Power Systems using Distributionally Robust Optimization Approach. *IEEE Trans. Power Syst*, 8950, 1.
- Andrade, P., Morejon, J., & Inga, E. (2016). Cobertura Máxima de Redes de Sensores Inalámbricos para un Sistema de Gestión de Energía en Hogares Inteligentes. *Inge Cuc*, 12, 68-78.
- Ayala, M. (2018). *Consumos eléctricos de la ciudad de Loja -Ecuador- y la incidencia del parque eólico Villonaco*.
- Caballero-González, E., & García-Cascal, M. (2018). LOCATION STUDY OF AN OFFSHORE WIND FARM IN THE ASTURIAN COAST THROUGH A MULTI-CRITERIA ANALYSIS. *Selected Proceedings from the 16th International Congress on Project Engineering*, (págs. 189-200).
- Carver, S. (1991). Integrating Multi-criteria Evaluation with Geographical Information Systems. *International Journal of Geographical Information Systems*, 5, 321-339.
- Castells, X. (2012). *Energías renovables*.
- de Andres, F. (2015). *Planificación de parques eólicos mediante sistemas de información geográfica y Algoritmos genéticos*.
- Di Tommaso, O., Genduso, F., Miceli, R., & Ricco, F. (2012). Computer aided optimization via simulation tools of energy generation systems with universal small wind turbines. *3rd IEEE Int. Symp. Power Electron. Distrib. Gener. Syst*, (págs. 570-577).
- Díaz-Cuevas , P., & Pita López, M. (2015). Evaluación y caracterización de las zonas incompatibles con la implantación eólica en Andalucía mediante la aplicación de un modelo locacional con Sistemas de Información Geográfica y Técnicas de Evaluación Multicriterio. *Análisis Espac. y Represent. geográfica innovación y Apl*, 581-590.
- Díaz-Cuevas, P., & Pita López, M. (2015). *Evaluación y caracterización de las zonas incompatibles con la implantación eólica en Andalucía mediante la aplicación de un modelo locacional con Sistemas de Información Geográfica y Técnicas de Evaluación Multicriterio*.
- Eastman , J., Weigin, J., Kyem, P., & Toledano, J. (1995). *Idrisi32 Version 1.0 Guide to GIS and Image Processing* .
- ESRI. (2022). Recuperado el 10 de 2022, de <https://www.esri.com/arcgis-blog/overview/>

- Falces, A. (2015). *Planificación de parques eólicos mediante sistemas de información geográfica y Algoritmos genéticos*. Universidad de La Rioja.
- Fernandez, A. (2011). *MÉTODO PARA LOCALIZACIÓN ÓPTIMA DE CENTRALES DE ENERGÍAS RENOVABLES*.
- Frías, M. (2014). *Aplicación de un modelo de decisión multicriterio para la implantación de energías renovables en un sistema energético*. Valladolid.
- González, M., Serrano, F., Morilla, F., & Serrano, V. (2011). Modelo Matemático y Modos de Operación de un Aerogenerador de Velocidad Variable. *X Congreso internacional sobre innovación y desarrollo* (págs. 1-7). Morelos: CIINDET.
- Guerrero, B. (2019). Evaluación del potencial eólico basada en sistemas de información geográfica y métodos de decisión multicriterio en el departamento de la Guajira, Colombia.
- Gómez, M., & Barredo, J. (2006). *Sistema de Información Geográfica Y Evaluación Multicriterio: En la Ordenación Del Territorio*. Alfaomega Grupo Editor.
- Hernandez, L. (2016). Energía eólica y desarrollo sostenible en la región de la rumorosa, municipio de Tecate .Un análisis multicriterio.
- Huang, G., Cheng, X., Peng, L., & Li, M. (2018). Aerodynamic shape of transition curve for truncated mountainous terrain model in wind field simulation. *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn*, 178, 89-90.
- INEC. (2022). [https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas\\_Ambientales/Ambientales2012dic/Presentacion\\_Comparables\\_Practicas\\_Hogares.pdf](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Ambientales2012dic/Presentacion_Comparables_Practicas_Hogares.pdf).
- Katinas, V., Gecevicius, G., & Marciukaitis, M. (2018). An investigation of wind power density distribution at location with low and high wind speeds using statistical model. *Applied Energy*, 218.
- Lantada, N., & Núñez, M. (2002). *Sistemas de información geográfica. Prácticas con Arc View*. Univ. Politèc. de Catalunya.
- Martinez, E., & Escudey, M. (1998). *Evaluación y decisión multicriterio: reflexiones y experiencias*.
- Matute, V. (2020). *IDENTIFICACIÓN DE ZONAS CON POTENCIAL EÓLICO Y SOLAR, COMO COMPLEMENTO A OTRAS FUENTES DE GENERACIÓN ELÉCTRICA EN LA PROVINCIA DEL AZUAY*. Cuenca.
- MEER. (2014). *Atlas Eólico del Ecuador con fines de generación eólica*. Quito: MEER.
- Mejia, A. (2018). *ÓPTIMA UBICACIÓN DE AEROGENERADORES BASADO EN EL ATLAS EÓLICO PARA MAXIMIZAR LA POTENCIA GENERADA*. Quito: Universidad Politécnica Salesiana.

- Ministerio Energía y Recursos Naturales no Renovables. (2022). *Plan maestro de electricidad 2018-2027*.
- Niekerk , F., & Voogd , H. (1999). Impact assessment for infrastructure planning : some Dutch dilemmas. *Environmental Impact Assessment Review*(19), 21-36.
- Novaes, E., Araújo, A., & Bouchonneau da Silva, N. (2018). A review on wind turbine control and its associated methods. *J. Clean. Prod*, 174, 945-953.
- Obando , M. (2017). Identificación del lugar óptimo de instalación de un parque eólico en el departamento del Atlántico.
- Ordóñez, P., Cabrera-Barona, P., & Quentin, E. (2014). Propuesta de metodología Geomática basada en Evaluación Multicriterio para el trazado de ductos petroleros. *Conference: PRSCO 2014At: Loja, Ecuador*.
- Sarría, F., Gomariz, F., & Cánovas, F. (2012). Conocimiento abierto en sistemas de información geográfica. Una estrategia para la geografía física. *Nimbus: Revista de climatología, meteorología y paisaje*(29-30), 21-34.
- Sedaghat, A., Hassanzadeh, A., & Jamali, J. (2017). Determination of rated wind speed for maximum annual energy production of variable speed wind turbines. *Applied Energy*, 205, 781-789.
- Shakoor, R., Hassan, Y., Raheem, A., & Wu, Y. (2016). Wake effect modeling: A review of wind farm layout optimization using Jensen's model. *Renew. Sustain. Energy Rev*, 58, 1048-1059.
- The National Center for Geographic Information Analysis. (2022). *The National Center for Geographic Information Analysis*. Recuperado el 10 de 2022, de <https://ibis.geog.ubc.ca/courses/klink/gis.notes/ncgia/toc.html>
- Van Branteghem, P. (2015). *Validación de modelos CFD de recurso eólico*. Madrid.
- Verbel, R. (2020). *Zonas potenciales para localización óptima de un parque eólico en el departamento de Córdoba aplicando las tecnologías de la información geográfica*. Córdoba.
- Will, D. (2018). Wind energy research: state of the art and future research directions. *Renewable Energy*, 125, 133-135.
- Yan, Y., & Zhang, J. (2014). Using edgedetector to model wake effects on wind turbines. *Int. Conf. Progn. Heal. Manag.*

# 11. Anexos

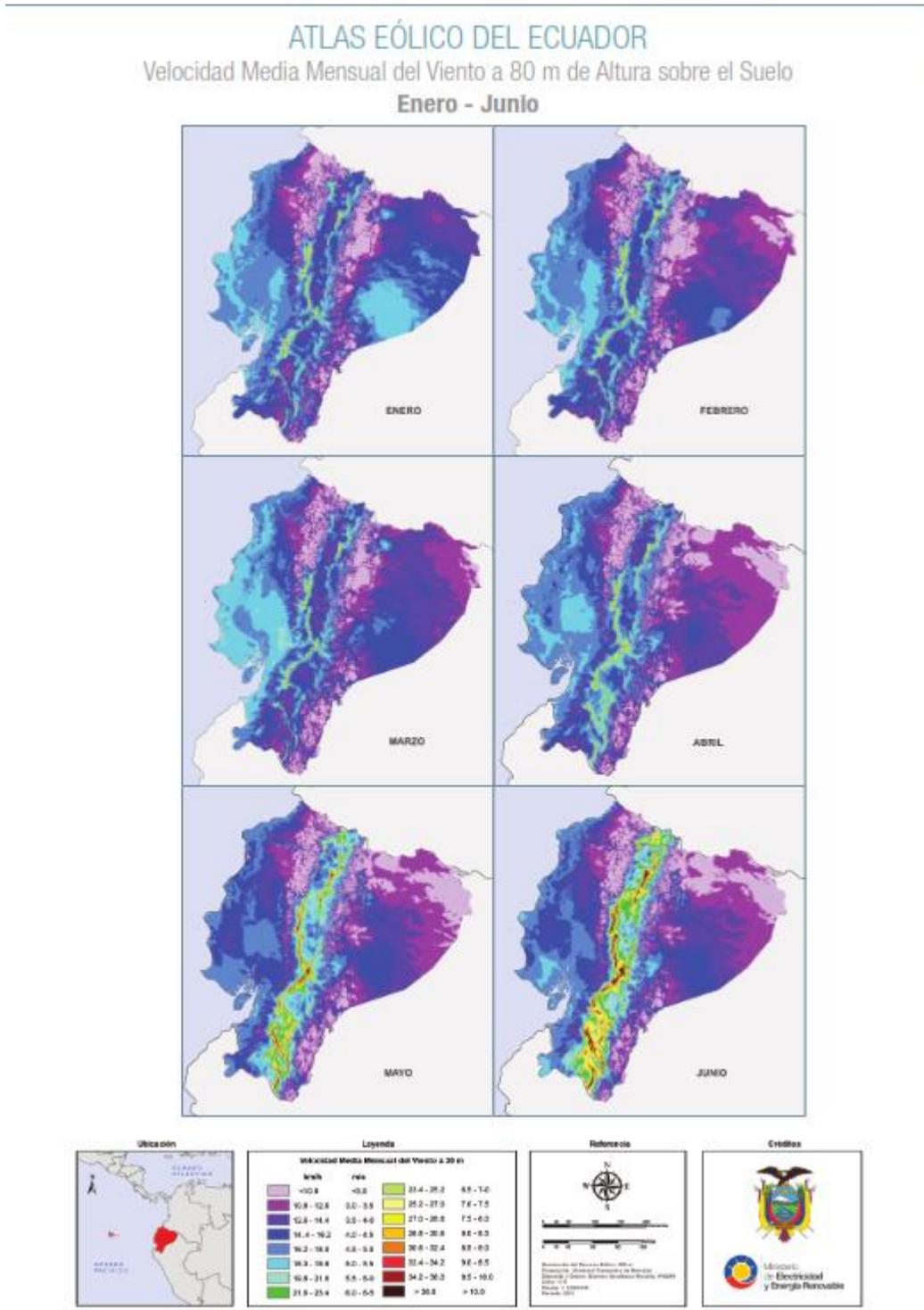
## Anexo 1. Pendiente del Terreno en Ecuador



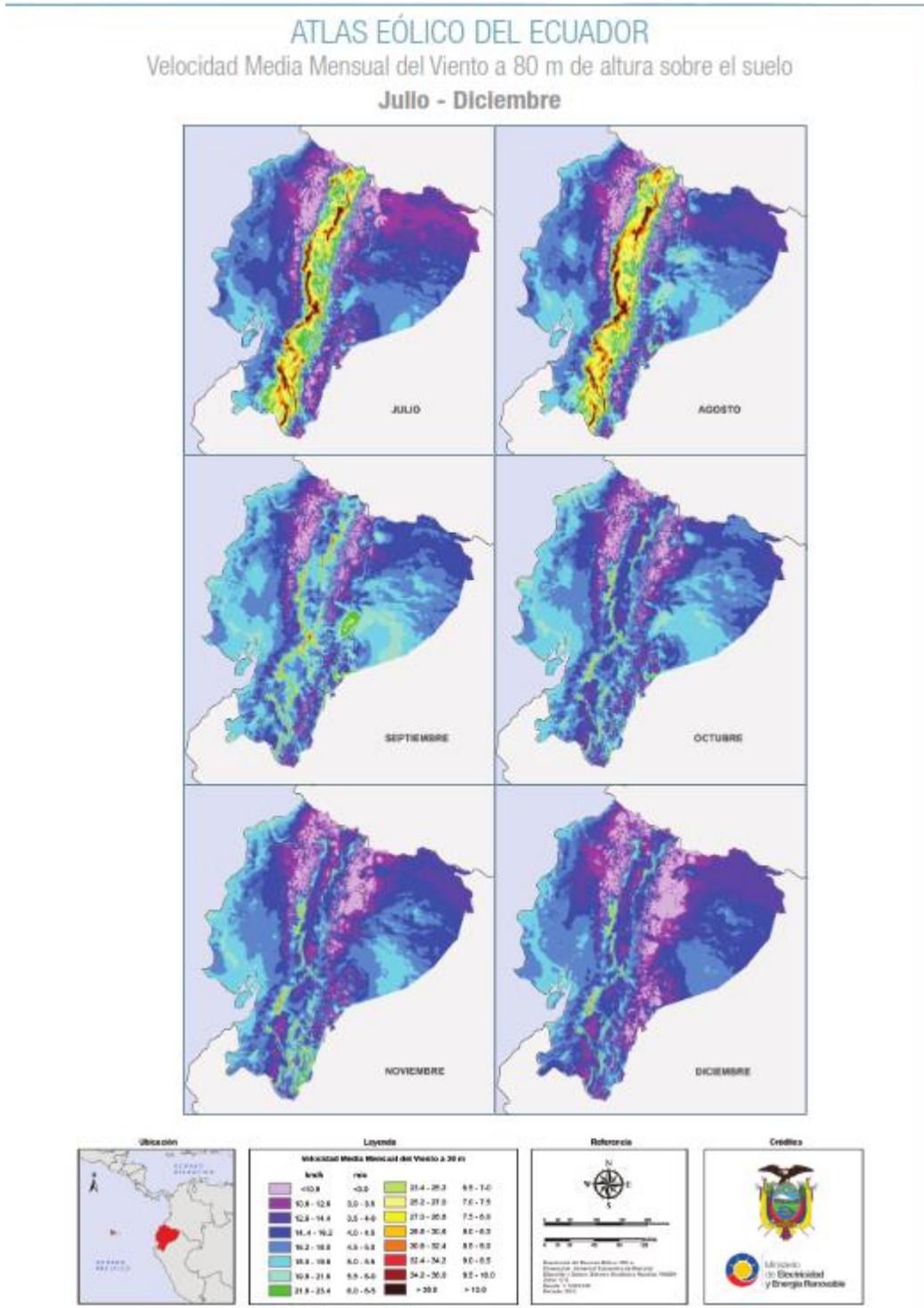




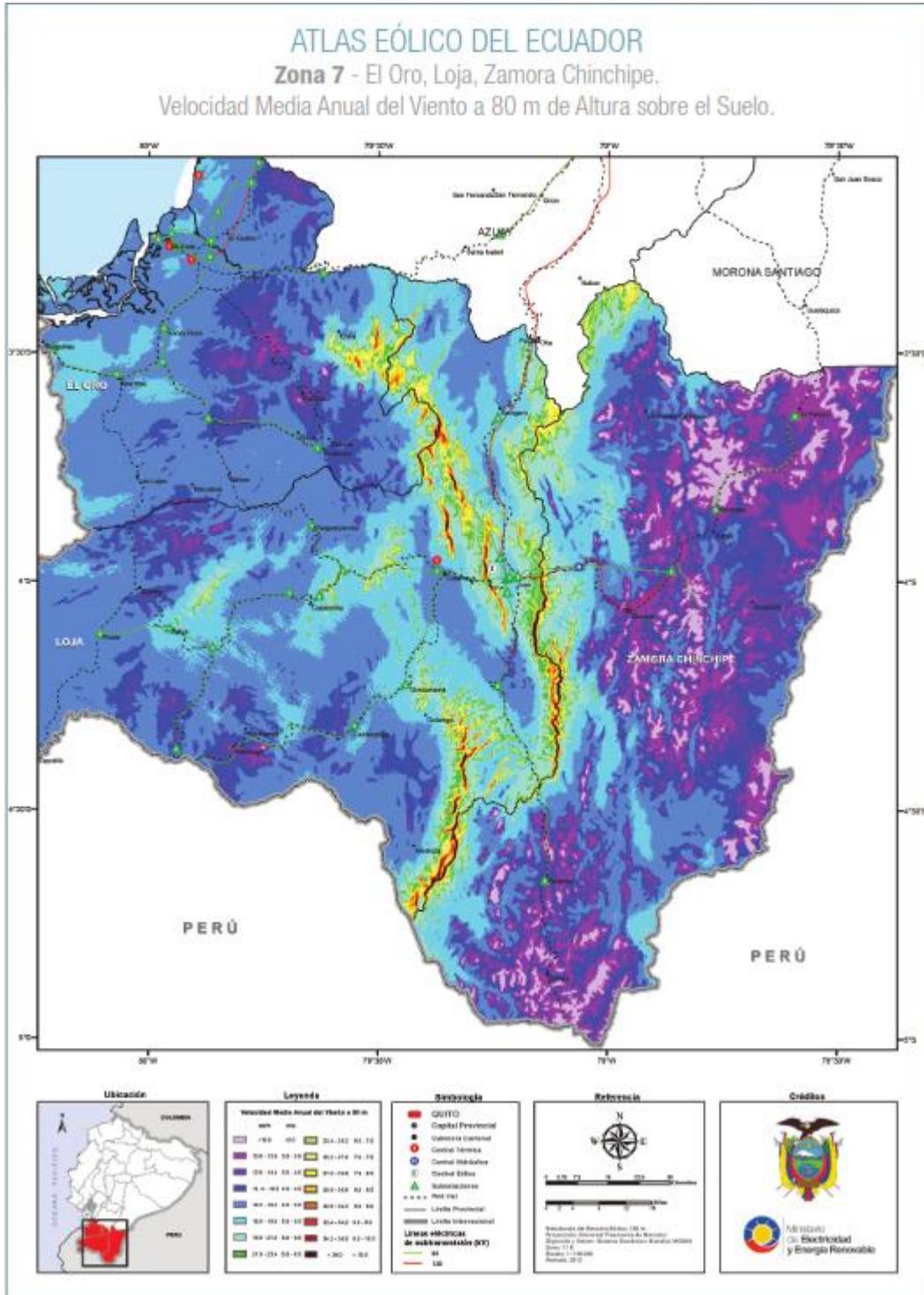
**Anexo 4. Velocidad Media Mensual del Viento a 80 m de Altura sobre el suelo (enero – junio)**



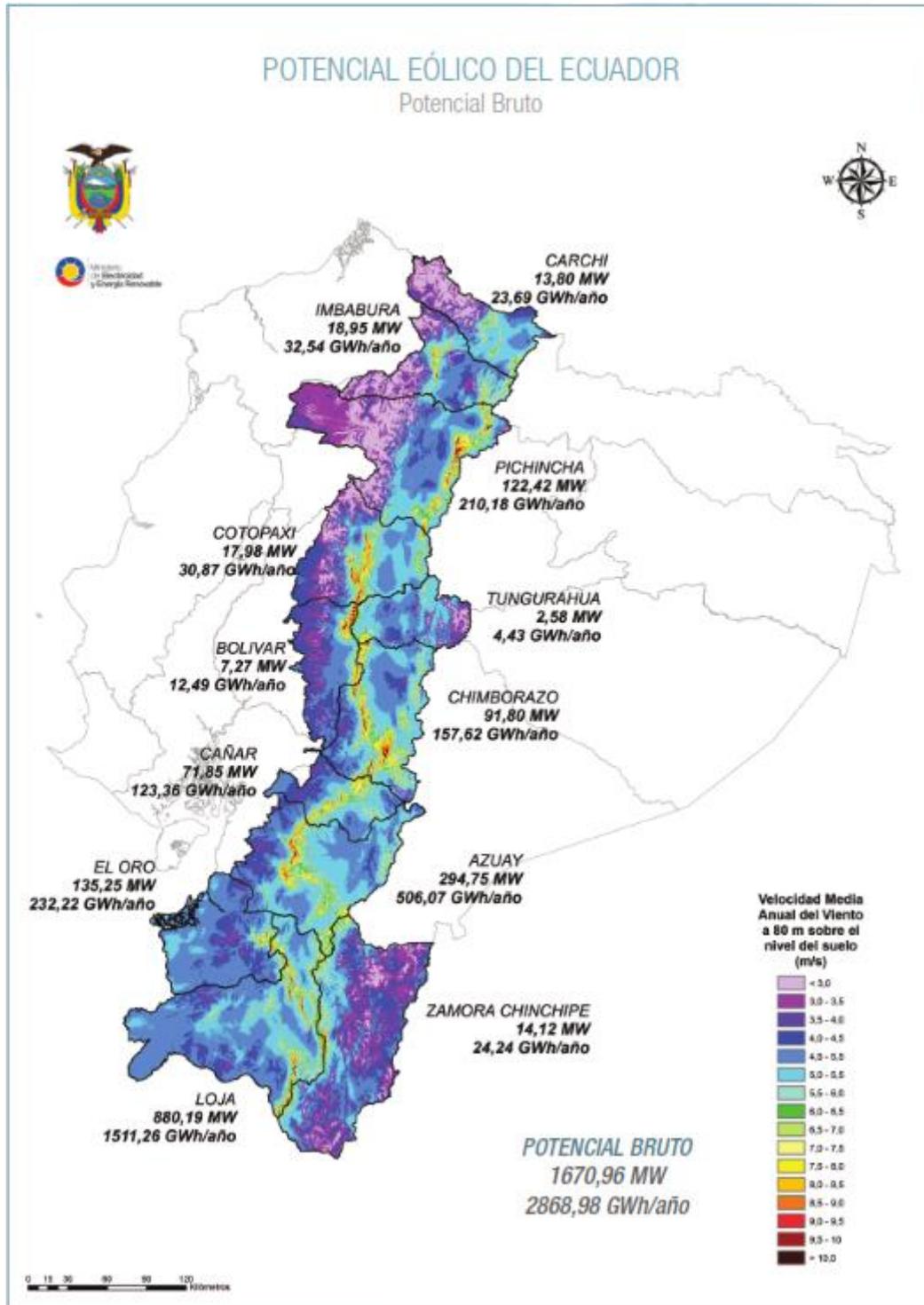
**Anexo 5. Velocidad Media Mensual del Viento a 80 m de Altura sobre el suelo (julio – diciembre)**



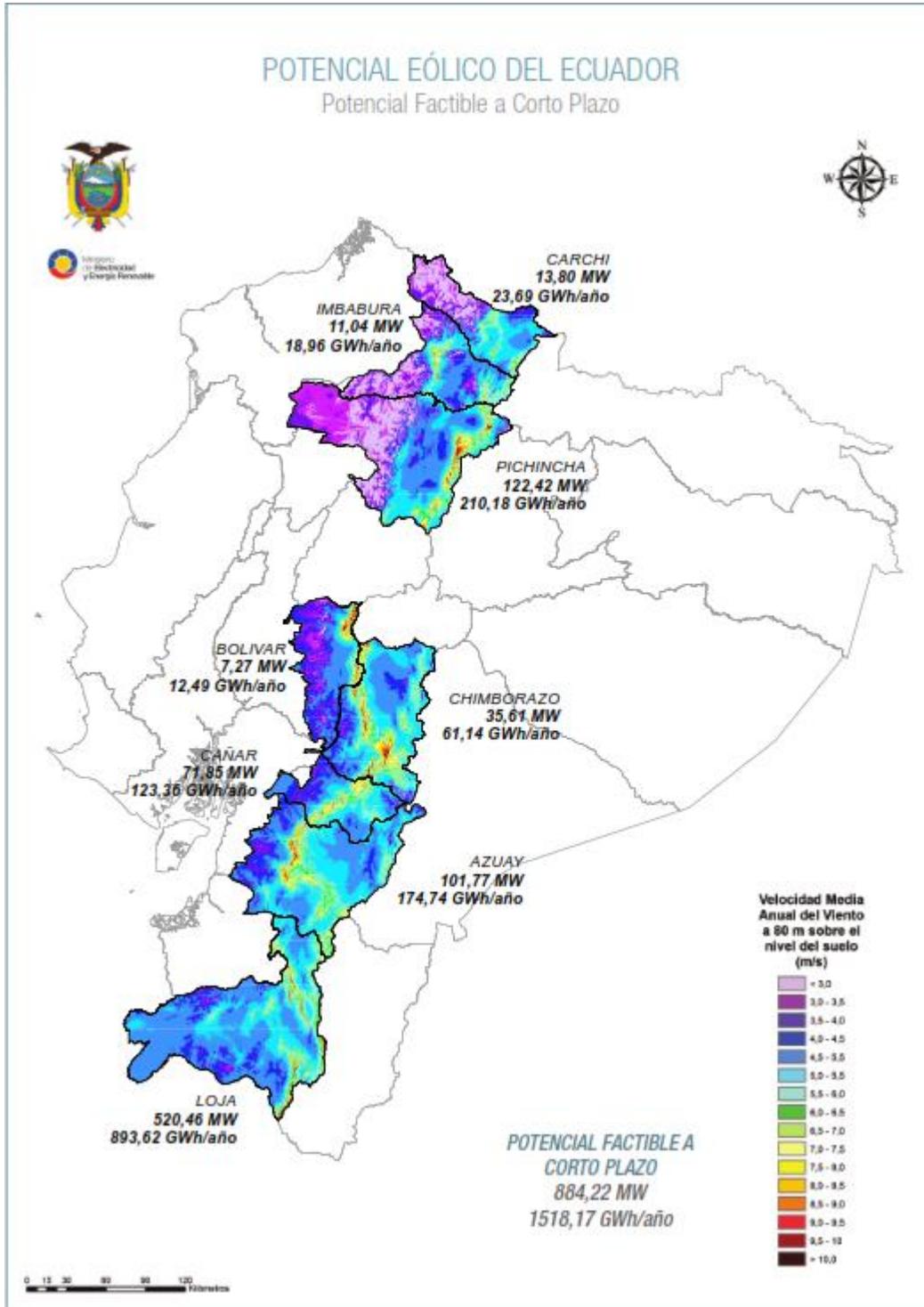
## Anexo 6. Velocidad Media Anual del Viento a 80 m de Altura sobre el Suelo



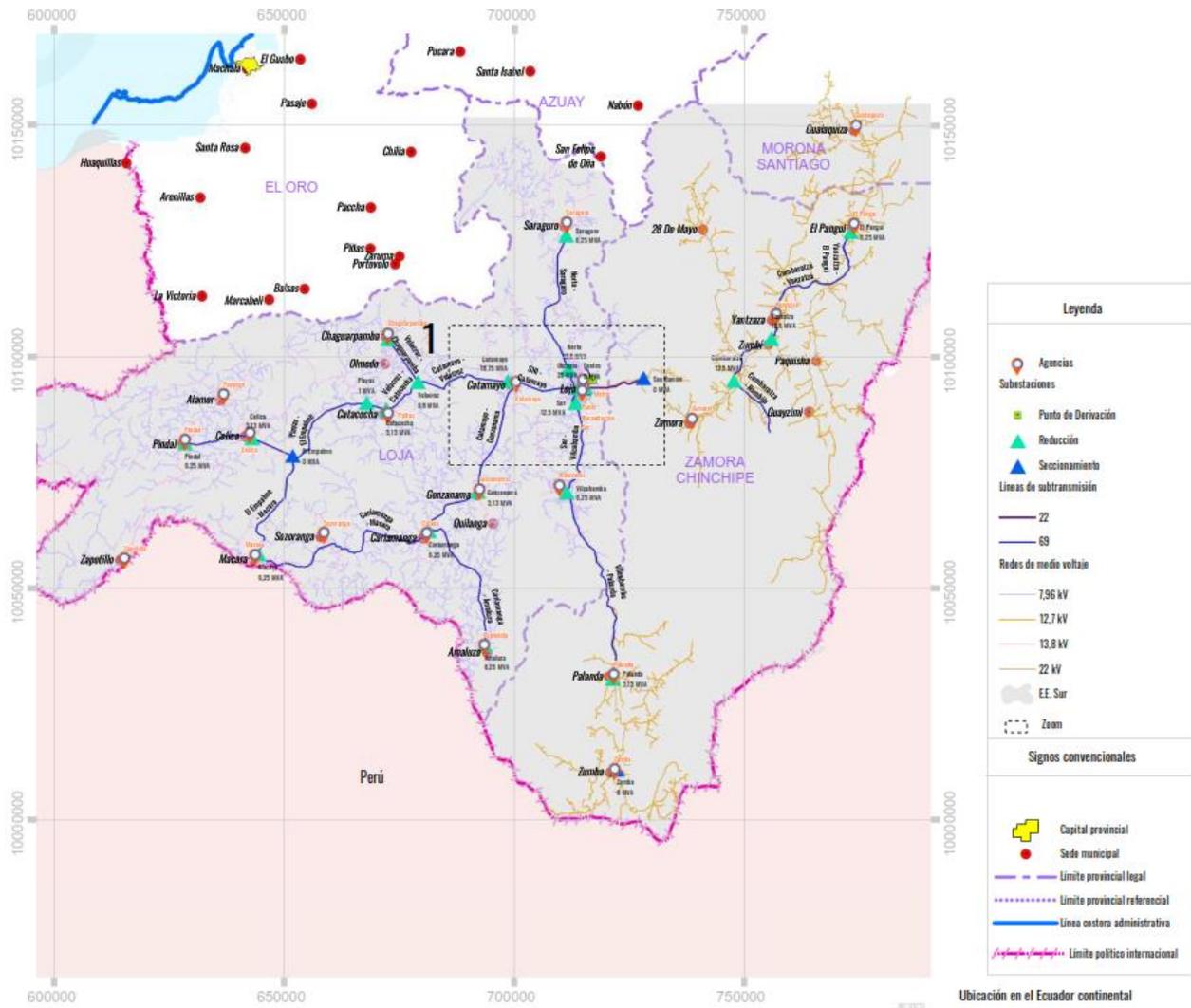
## Anexo 7. Potencial Bruto de Energía Eólica en Ecuador



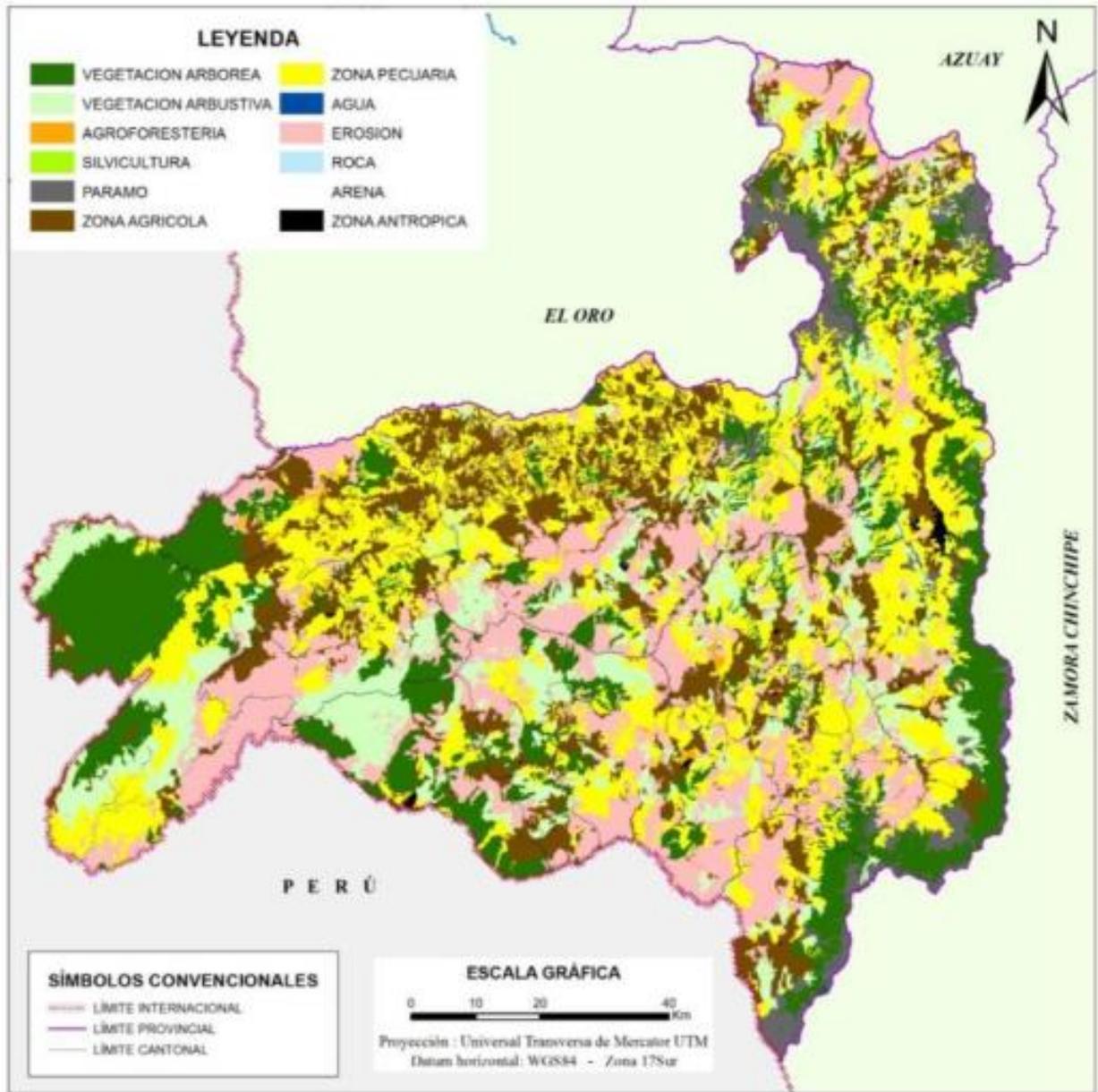
## Anexo 8. Potencial Eólico Factible a Corto Plazo



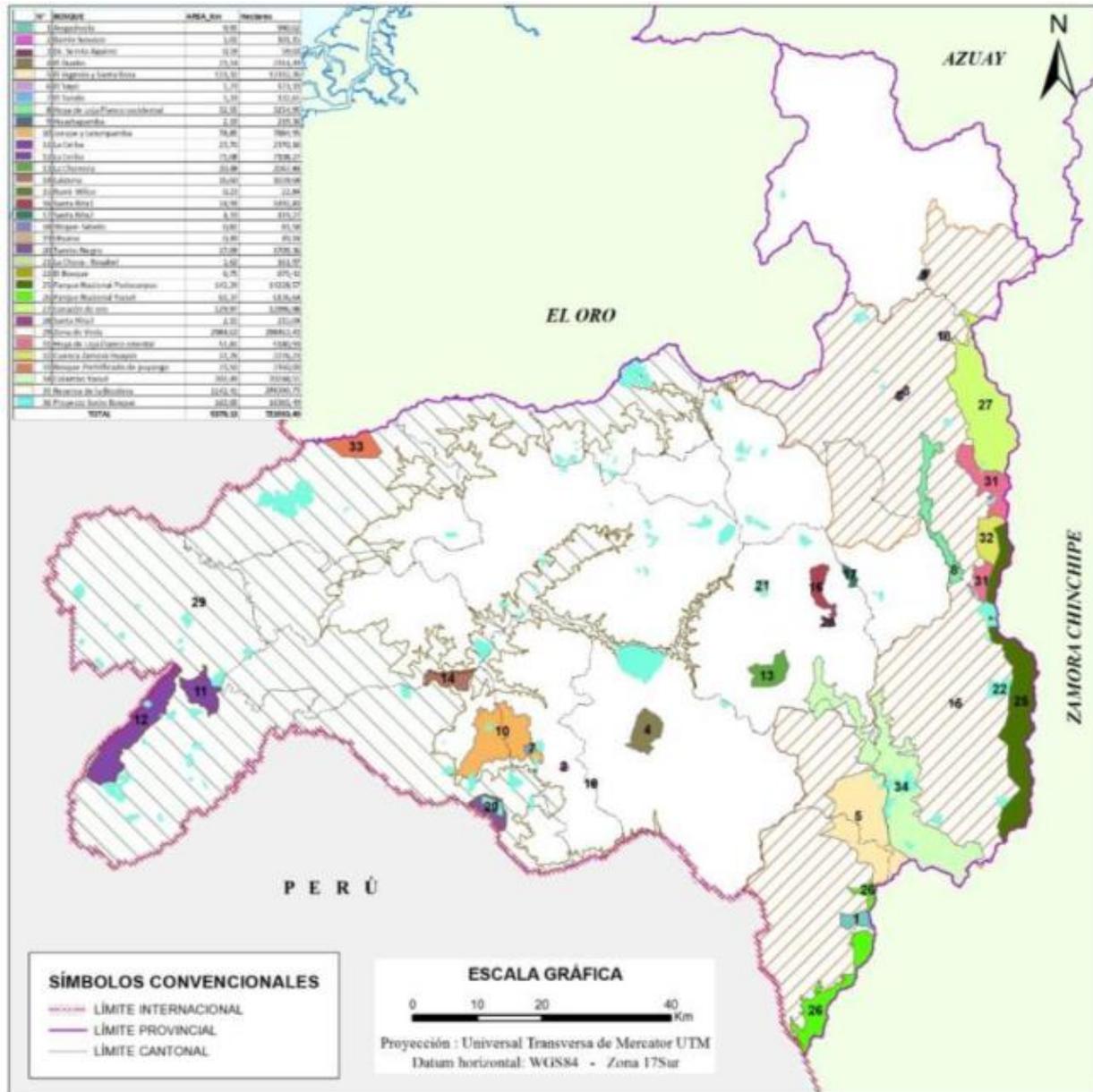
## Anexo 9. Infraestructura eléctrica en el área de concesión de la EERSSA



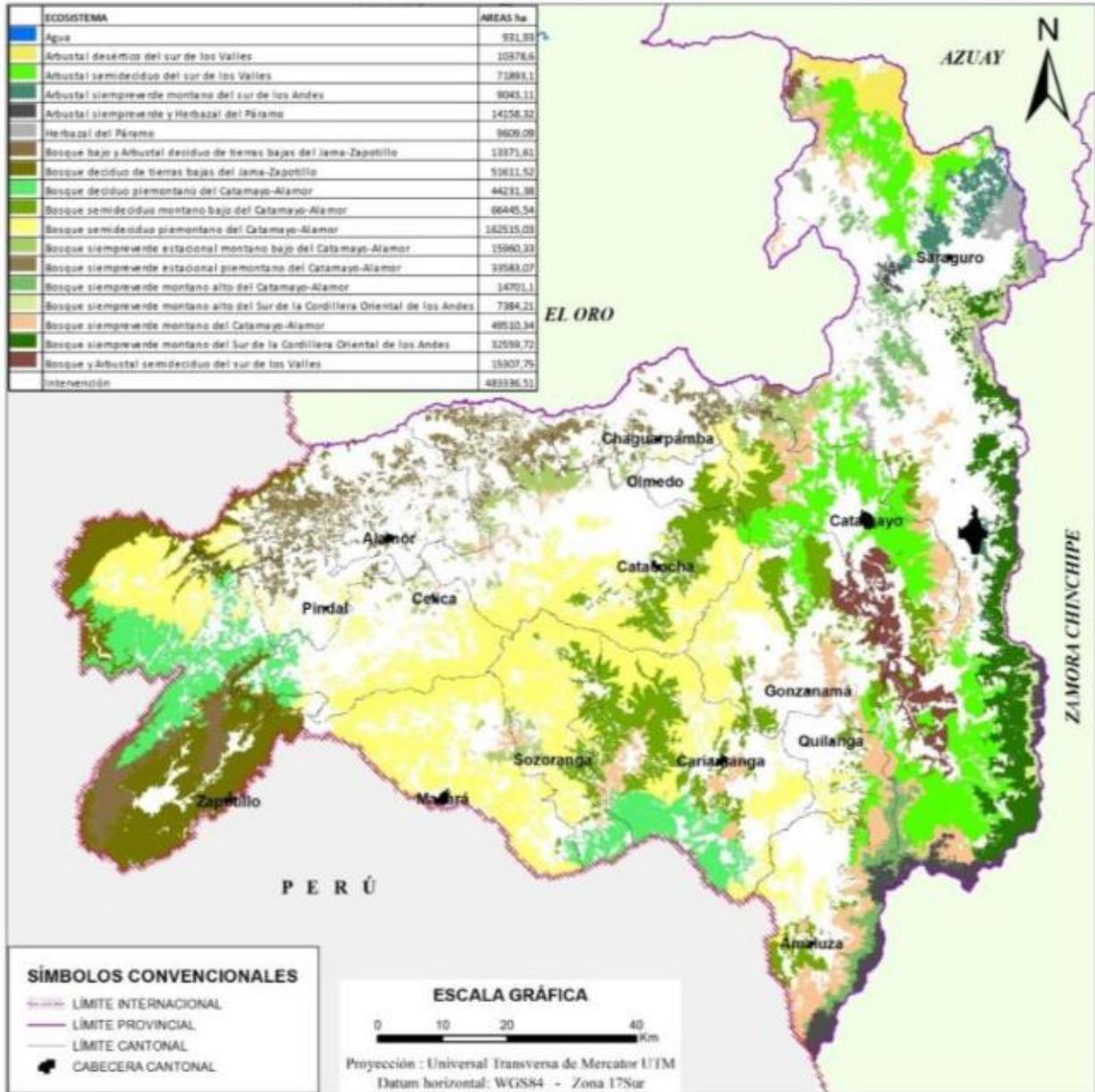
Anexo 10. Uso general actual del suelo en la provincia de Loja



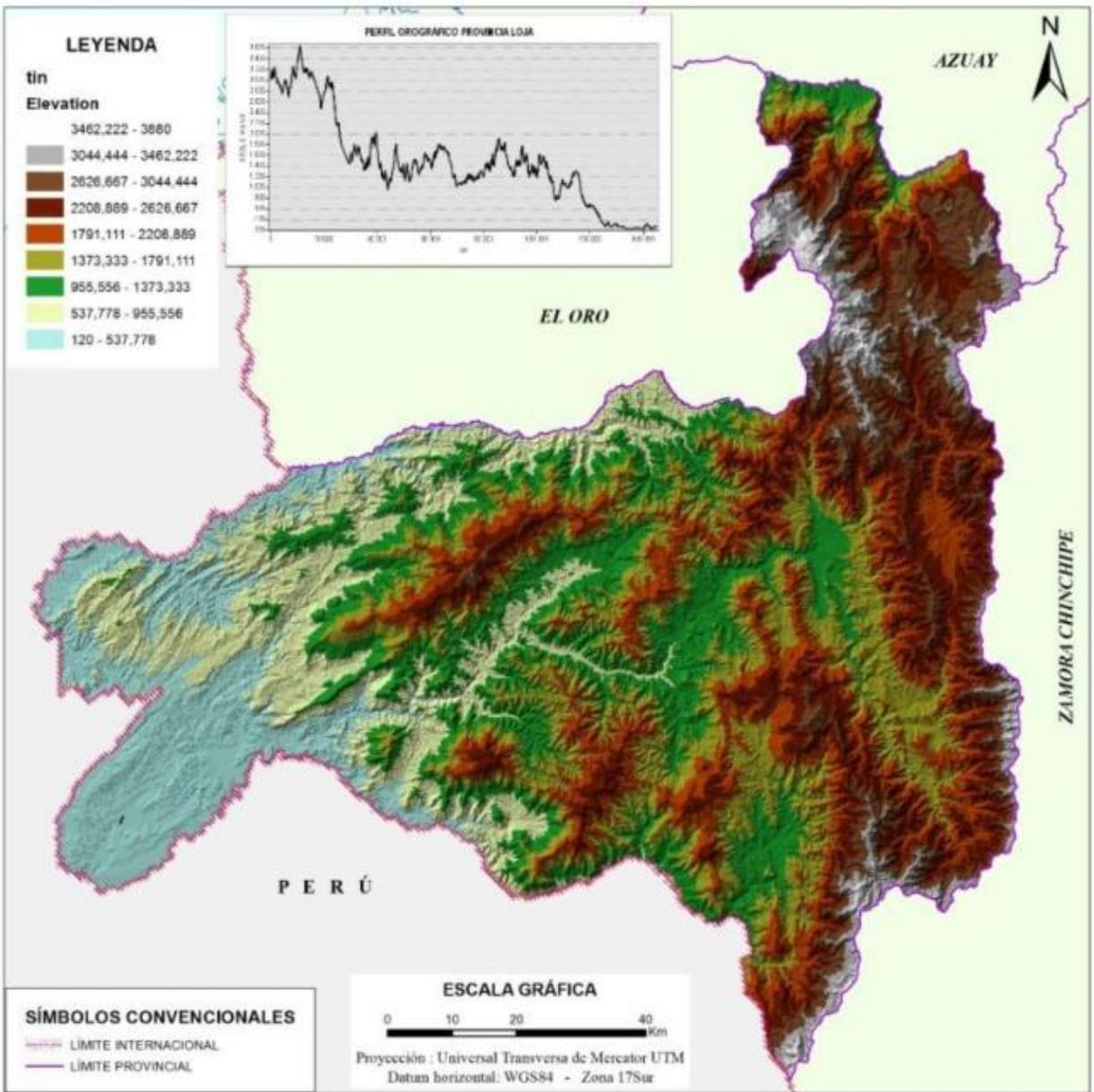
## Anexo 11. Área de bosque y vegetación protectora de la provincia de Loja



## Anexo 12. Ecosistemas Continentales de la provincia de Loja



### Anexo 13. Orografía de la provincia de Loja

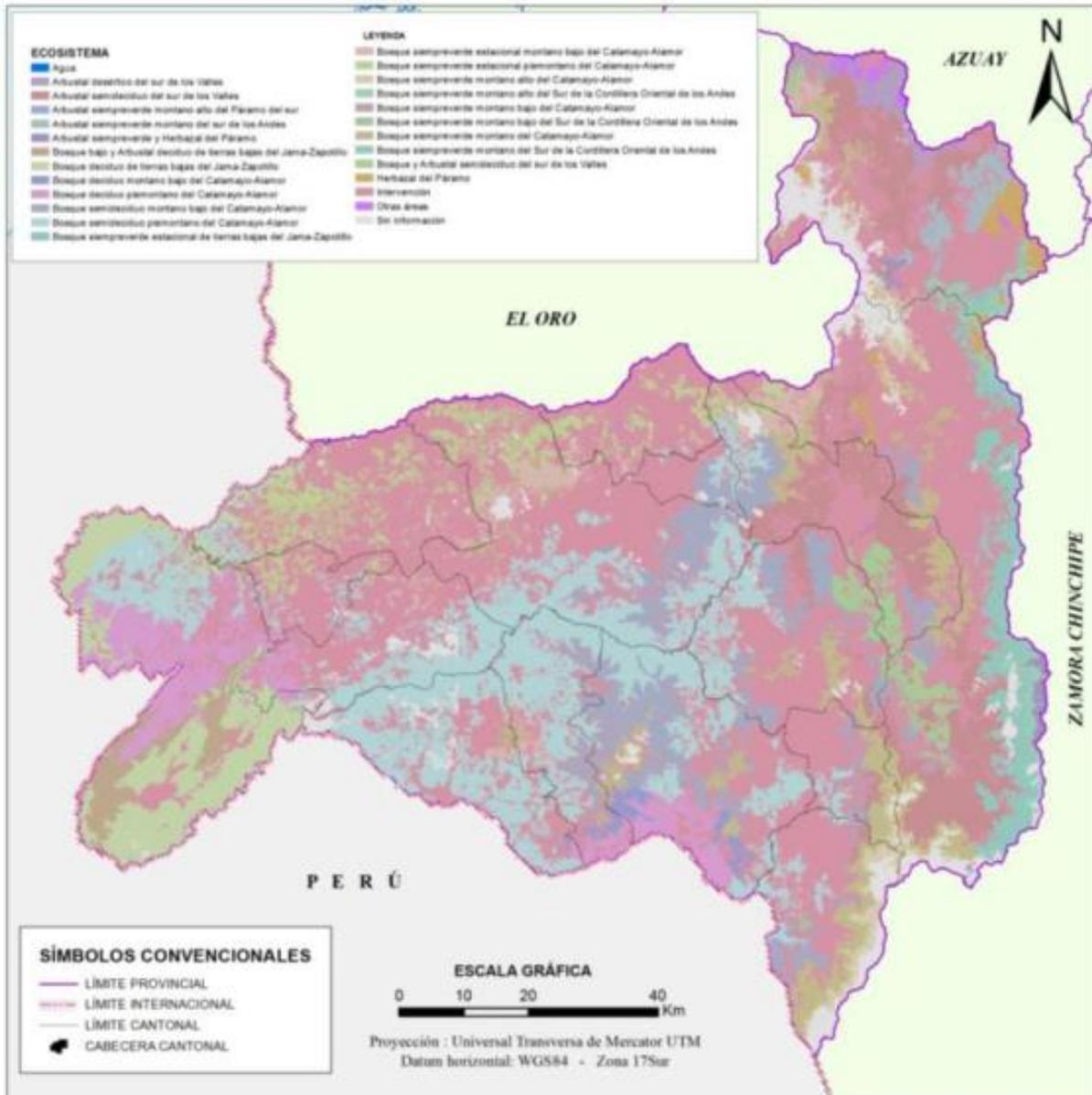




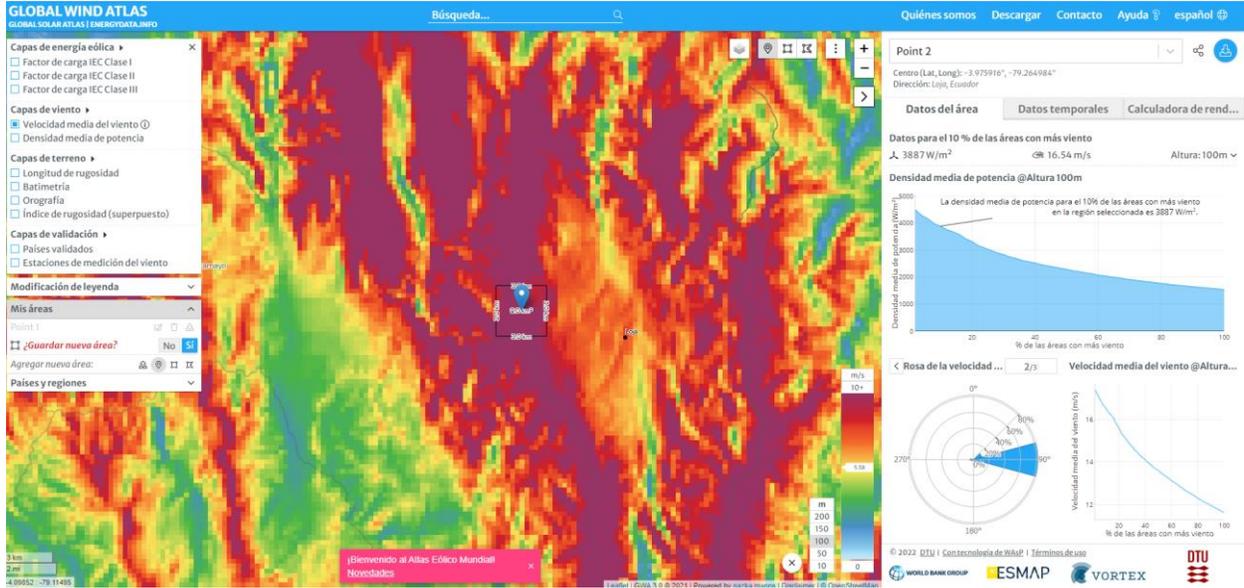
## Anexo 15. Red vial provincial por tipos de vía



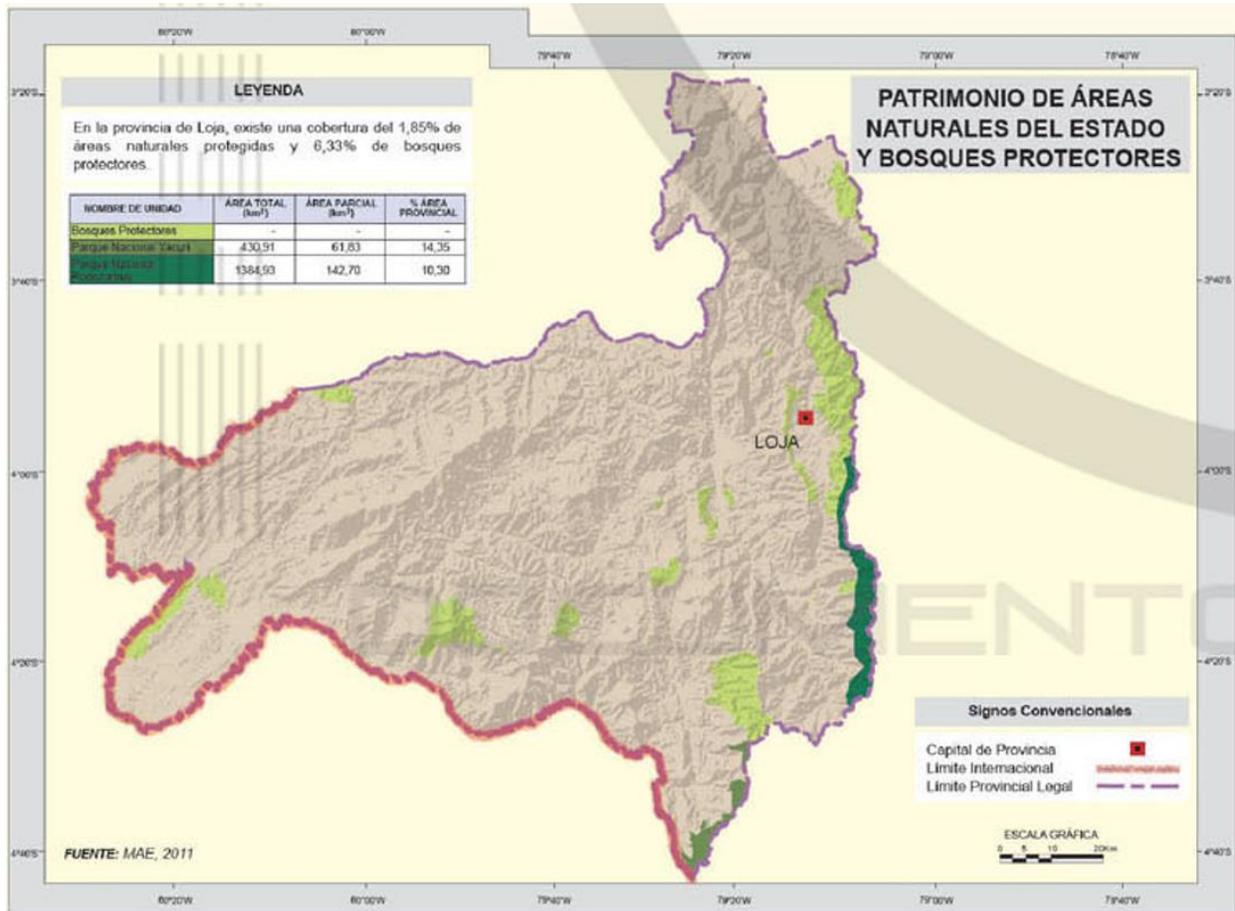
## Anexo 16. Ecosistemas Terrestres



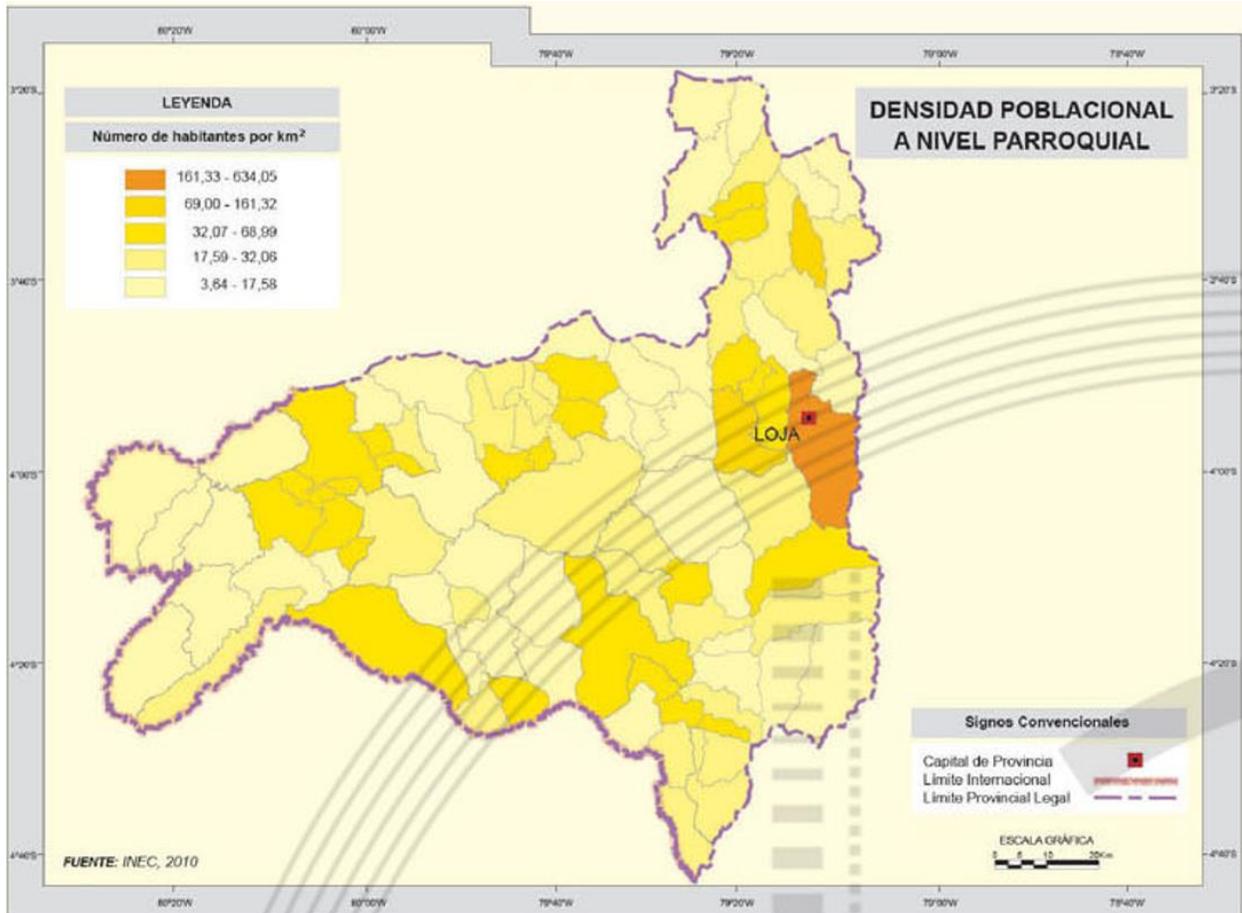
## Anexo 17. Captura de imagen de Global Wind Atlas de la zona de estudio



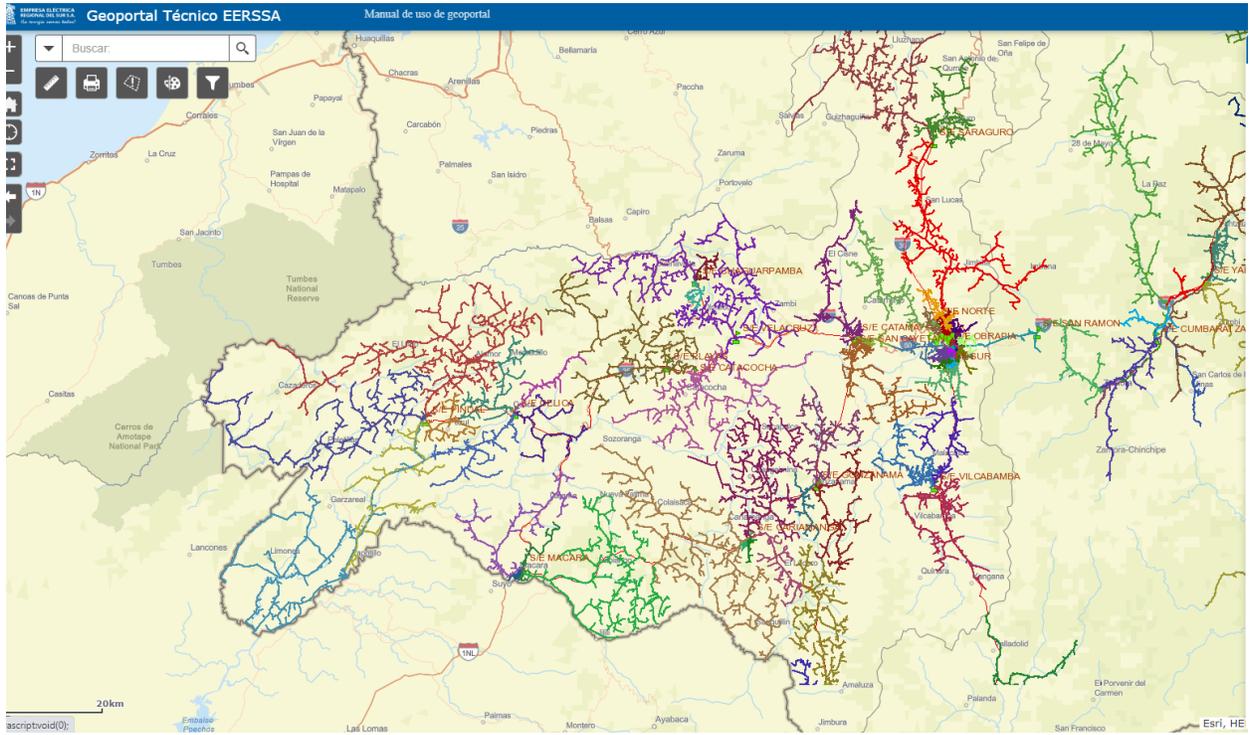
## Anexo 18. Patrimonio de Áreas naturales del estado y bosques protectores



## Anexo 19. Densidad Poblacional a nivel parroquial



## Anexo 20. Geoportal EERSSA



## **Anexo 21. Certificado de traducción de resumen**

Loja, 26 de octubre del 2022.

Jorge Isaac Peralta Córdova, portador del documento de identidad N°**1105166068**, poseedor del **NIVEL INTERMEDIO B2-INGLÉS**, certificado **SETEC N° MDT-OC-193617**.

### **CERTIFICO:**

Que he realizado la traducción al idioma inglés del resumen derivado del Trabajo de Titulación denominado: **Planificación de parques eólicos en la Región Sur del Ecuador mediante sistemas de información geográfica**, de autoría de la **Sr. Cristian Javier Illescas Astudillo**, portador de la cédula de identidad N° **1103000517**, estudiante del programa de Maestría en Electricidad, Mención Sistemas Eléctricos de Potencia.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad, a su vez autorizo al interesado a hacer el uso del presente para los fines que considere pertinentes.

Jorge Isaac Peralta Córdova

**SETEC N° MDT-OC-193617**