

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



CURSO DE ESPECIALIZACIÓN: ENERGÍAS RENOVABLES
ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD DEL POTENCIAL
EÓLICO EN LA FINCA MARINA CUMBRE EN EL
MUNICIPIO DE JAYAQUE, DEPARTAMENTO DE LA
LIBERTAD.

PRESENTADO POR:

ALEJANDRO ANTONIO CEDILLOS ARANA
MARLON ALCIDES ORELLANA VALLADARES
RODRIGO ERNESTO SALAZAR MONTERROSA

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:
INGENIERO MECÁNICO

CIUDAD UNIVERSITARIA, FEBRERO DE 2025

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR

:

MSc. JUAN ROSA QUINTANILLA

SECRETARIA GENERAL

:

Lic. PEDRO ROSALÍO ESCOBAR CASTANEDA

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO

:

Ing. LUIS SALVADOR BARRERA MANCÍA

SECRETARIO

:

Arq. RAÚL ALEXANDER FABIÁN ORELLANA

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

DIRECTOR INTERINO

:

M.Sc. e Ing. GUSTAVO SALOMÓN TORRES RÍOS LAZO

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

CURSO DE ESPECIALIZACIÓN: ENERGÍAS RENOVABLES

Trabajo de Aplicación previo a la opción al Grado de:
INGENIERO MECÁNICO

Título :
**ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD DEL POTENCIAL
EÓLICO EN LA FINCA MARINA CUMBRE EN EL
MUNICIPIO DE JAYAQUE, DEPARTAMENTO DE LA
LIBERTAD.**

Presentado por :
**ALEJANDRO ANTONIO CEDILLOS ARANA
MARLON ALCIDES ORELLANA VALLADARES
RODRIGO ERNESTO SALAZAR MONTERROSA**

Trabajo de Aplicación Aprobado por:

Docente Asesor :
INGENIERO ALBERTO ANTONIO ROSA LUE

San Salvador, febrero de 2025

Trabajo de Aplicación Aprobado por:

Docente Asesor:

INGENIERO ALBERTO ANTONIO ROSA LUE

Tribunal Calificador:

F. _____

Ing. Alberto Rosa Lue

F. _____

Ing. Francisco Alfredo De León Torres

F. _____

Ing. Miguel Tomás Amaya Gómez

DEDICATORIAS Y AGRADECIMIENTOS

Primeramente, quiero agradecer a Dios por la vida, por brindarnos la inteligencia y la sabiduría para llegar a esta etapa de nuestra formación profesional. A mi madre María Ernestina valladares y a mi padre José Alcides Orellana por su apoyo incondicional, por confiar plenamente en mí, por el sacrificio y esfuerzo que han realizado y por sus consejos para salir adelante. A mis hermanos y familiares que me brindaron su apoyo en todo momento y por motivarme a cumplir mis metas. A los compañeros que durante toda la carrera pusieron su granito de arena compartiendo su conocimiento y por los buenos momentos compartidos. A nuestro asesor ing. Alberto Lue por brindarnos su conocimiento, apoyo y experiencia a lo largo del proyecto y a todos los docentes que compartieron su conocimiento y motivación.

Marlon Alcides Orellana.

En primer lugar, quiero agradecer profundamente a mi madre, Eduviges Monterrosa, a mi hermana, Gabriela Monterrosa, y a mi abuela, Blanca Monterrosa pues sin su apoyo, paciencia y amor incondicional, esta meta no habría sido posible. Ustedes fueron mi motivación constante, mis mayores ejemplos de fortaleza, gracias por estar siempre ahí, creyendo en mí.

A mis compañeros de trabajo de graduación, gracias por cada momento compartido, por las risas y también por las largas jornadas de esfuerzo y dedicación. Su compromiso y amistad hicieron de este proceso algo mucho más llevadero y enriquecedor. También quiero agradecer a mis amigos de la carrera, quienes, a lo largo de estos años, se convirtieron en una familia.

A todos los catedráticos que dejaron huella en nuestra formación, gracias por su paciencia, por cada clase y por compartir su conocimiento con tanto empeño. Su dedicación nos inspiró a dar lo mejor de nosotros.

A todos ustedes, de corazón, gracias por formar parte de este viaje y por ser el apoyo que me ayudó a llegar hasta aquí.

Rodrigo Ernesto Salazar.

En primer lugar, agradezco a Dios por haber trazado el camino que me ha traído hasta este momento, brindándome la oportunidad de afrontar nuevos retos con las herramientas necesarias. Aprendiendo lo debido durante estos años.

Igualmente, extiendo mi gratitud a cada uno de los docentes que han sido parte de esta formación, quienes desde un principio han ido educándonos en cómo abordar temas cada vez más complejos y desarrollando nuevas capacidades. Y especial agradecimiento a los ingenieros encargados del curso de especialización en energías renovables; a lo largo de sus clases se percibió el compromiso en transmitir su conocimiento en este campo.

Finalmente, dedico este trabajo a mis padres, quienes han sido la razón principal para llegar hasta aquí. Su apoyo incondicional y su confianza en mí, incluso en momentos de duda, han sido la base de este logro. Les agradezco profundamente por enseñarme a creer en mí mismo y por su esfuerzo constante.

Alejandro Cedillos.

Índice de Contenido

I.	Alcances y Planteamiento del Problema	1
i.	Definición del Problema.....	1
ii.	Objetivos	2
Objetivo General	2	
Objetivos Específicos	2	
iii.	Alcances	2
iv.	Justificación	3
Capítulo 1:	Fundamentos Teóricos y Contexto de la Energía Eólica.....	4
1.1.	Breve historia de la energía eólica	5
1.2.	Importancia y crecimiento de la energía eólica a nivel mundial.....	7
1.3.	Realidad actual de la energía eólica en el país.	9
Capítulo 2:	Tecnología y Equipamiento Utilizado en Sistemas Eólicos.	11
2.1.	Clasificación de la tecnología eólica.....	11
2.1.1.	Número de palas	12
2.1.2.	Por la orientación de su rotor	13
2.1.3.	Por el tipo de generador eléctrico acoplado.	14
2.2	Componentes de un aerogenerador.....	15
Capítulo 3:	Selección de la Zona de Estudio y Caracterización Topográfica.....	18
3.1.	Selección de Zona de Estudio	21
3.2.	Reconocimiento del Lugar	22
Capítulo 4:	Recolección y Análisis de Datos del Recurso Eólico.....	24
4.1.	Metodología de Recolección	24
4.1.1	Instrumentos de Medición.....	24
4.1.2	Procedimiento de registro de datos	28
4.2.	Registro de datos eólicos	29
4.3.	Tratamiento de los datos eólicos	30
4.3.1.	Perfil de Velocidad del Viento.....	31
4.4.1	Modelo Logarítmico del Perfil del Viento.....	32
4.4.	Perfil de Viento Utilizando Modelo Logarítmico	35
4.5.	Análisis de Datos mediante la Distribución de Weibull	36

4.6.	Resumen	41
Capítulo 5: Evaluación y Caracterización del Potencial Eólico		42
5.1.	Caracterización Climática y Densidad del aire.	42
5.2.	Distribución de Viento.....	43
5.3.	Densidad de Potencia y Energía	44
5.3.1	Densidad de Energía	48
5.4.	Curva de Aprovechamiento Continuo.....	51
5.5.	Evaluación del Potencial del Viento con un Aerogenerador	52
5.4.1	Densidad de energía en el periodo de estudio.....	53
5.4.2	Factor de Capacidad.....	54
5.4.3	Historial Meteorológico	54
5.4.4	Producción de Energía	56
5.6.	Resumen	57
Capítulo 6: Riesgos, Viabilidad Social y Aspectos Regulatorios		59
6.1.	Caracterización de la zona	59
6.2.	Riesgos de Impacto sobre el Suelo	60
6.2.1	Pendientes	61
6.3.	Riesgos de Impacto en la Flora y Fauna, Impacto en el Paisaje, y Emisión de Ruidos.....	62
6.3.1	Flora y Fauna.....	62
6.3.2	Impacto en el Paisaje.....	63
6.3.3	Emisión de Ruidos	64
6.4.	Viabilidad Social y Participación Comunitaria.....	64
6.4.1	Aceptación Social	67
6.4.2	Barreras a la aceptación y Beneficios Comunitarios.....	69
6.5	Leyes Reglamentos y Normas.....	71
6.5.1	Leyes Reglamentos y Normas Medioambientales	71
6.5.2	Procedimiento para el Estudio de Impacto Ambiental.....	74
6.5.3	Manejo Ambiental en las Energías renovables.....	76
6.6	Resumen	77
II.	Conclusiones y Recomendaciones	78
III.	Bibliografías.....	79

IV.	ANEXOS	83
	Anexo 1: Presupuesto de Investigación	83
	Anexo 2: Percepción Comunitaria sobre el Proyecto Eólico.....	84
	Anexo 3: Distribuciones de Weibull para diferentes alturas.....	85
	Anexo 4: Rosas de viento de frecuencia y velocidad media.....	87
	Anexo 5: Rosas de viento de potencia y energía a diferentes alturas	88
	Anexo 6: Caracterización de la zona	92
	Anexo 7: Instituciones relacionadas con las Energías Renovables.....	95
	Anexo 8: Procedimiento para participación de los Generadores Privados	97
	Anexo 9: Mediciones de viento en Finca Marina Cumbre, Jayaque.	101

I. Alcances y Planteamiento del Problema

i. Definición del Problema

La urgencia por explorar fuentes energéticas renovables ha ganado tracción en los últimos años, en respuesta al agotamiento progresivo de recursos no renovables y su impacto ambiental adverso. En El Salvador, a pesar de que aproximadamente el 40% de la capacidad de generación eléctrica proviene de fuentes renovables, la contribución de la energía eólica se limita a un único parque eólico ubicado en Metapán, conocido como Parque Eólico Ventus.

Esta concentración de infraestructura resalta la necesidad de explorar otras áreas, donde posiblemente se encuentren condiciones favorables para la instalación de aprovechamientos eólicos. Por ende, el desafío que se plantea abordar radica en la posible subutilización de este recurso renovable, así como en diversificar la procedencia de los recursos energéticos hacia fuentes más sostenibles.

ii. Objetivos

Objetivo General

Realizar un estudio de prefactibilidad del potencial eólico en la Finca Marina Cumbre en el municipio de Jayaque, departamento de la libertad.

Objetivos Específicos

- Seleccionar la ubicación óptima para el estudio en el municipio de Jayaque, identificando el sitio más propicio para realizar mediciones.
- Recopilar y analizar datos de las variables de interés para obtener una visión completa del potencial eólico.
- Determinar el potencial eólico en la Finca Marina Cumbre en el municipio de Jayaque, departamento de la libertad.
- Describir los aspectos legales, geográficos, medioambientales y económicos que influyen para el desarrollo del proyecto.

iii. Alcances

1. Describir los posibles efectos en el entorno natural, incluyendo la flora, fauna y ecosistemas, en el caso que se lleve a cabo la ejecución de una aplicación de tecnología eólica en el sitio de estudio.
2. Realizar mediciones en la zona considerando los datos históricos.
3. Evaluar el potencial eólico estimado mediante el análisis detallado de los datos recopilados.
4. Presentar los resultados de la investigación en la que se refleje la cantidad y la calidad del recurso eólico en el sitio de estudio.

iv. Justificación

La determinación de investigar la viabilidad de capitalizar el potencial eólico se fundamenta en su eficacia comprobada y su sostenibilidad ambiental. La innovación tecnológica ha permitido llevar la eficiencia energética de la energía eólica a niveles satisfactorios, cercanos al límite de Betz; que delinea la máxima potencia del aire que puede ser aprovechada por un aerogenerador.

Lastimosamente en El Salvador debido a nuestras cadenas montañosas, las posibles zonas aprovechables son escasas, sin embargo, al no ser un recurso muy explotado aún hay muchas zonas con considerable densidad de potencia del viento a ser aprovechada.

En base a la investigación realizada, el plan maestro para el desarrollo de las energías renovables en El Salvador, nos indica la zona occidental del país como la que mayor potencial tiene, siendo La Libertad, Ahuachapán y Metapán las zonas más favorables para el desarrollo de estos proyectos, la ubicación seleccionada es "13°39'19.7"N 89°27'22.0"W" la cual tiene una altitud considerable e indica una gran densidad de potencia.

Capítulo 1: Fundamentos Teóricos y Contexto de la Energía Eólica.

El viento, una manifestación dinámica de la atmósfera terrestre, surge como resultado directo de la radiación solar. La interacción entre la superficie terrestre y los rayos solares desencadena un proceso de calentamiento desigual, generando áreas de alta y baja presión atmosférica. Este desequilibrio de presiones conduce a movimientos del aire a lo largo de la superficie de la Tierra, dando origen al fenómeno conocido como viento.

En su esencia, el viento representa una forma de energía en movimiento, específicamente energía cinética, la cual posee un potencial significativo para ser aprovechado en la generación de energía útil para el aprovechamiento humano. Esta energía cinética del viento puede ser canalizada y convertida en energía mecánica de rotación mediante el uso de dispositivos mecánicos, como los molinos de viento. Estos ingenios mecánicos han sido diseñados para capturar la fuerza del viento y transformarla en movimiento rotatorio, el cual puede ser utilizado para diversos fines, desde la molienda de granos, como en la antigüedad, hasta la generación de energía eléctrica.

En la actualidad, los molinos de viento han evolucionado hacia tecnologías más sofisticadas, como los modernos aerogeneradores. Estas estructuras, equipadas con hélices o palas giratorias, son capaces de capturar de manera más eficiente la energía del viento y convertirla directamente en energía eléctrica a través de generadores integrados. De esta manera, los aerogeneradores se han convertido en una pieza fundamental en la producción de energía renovable, ofreciendo una alternativa limpia y sostenible para satisfacer las crecientes demandas energéticas de la sociedad moderna.

1.1. Breve historia de la energía eólica

La historia de la utilización de la energía eólica se remonta a tiempos antiguos, siendo los primeros registros de su aprovechamiento datados alrededor del año 4500 a.C., cuando los antiguos egipcios comenzaron a emplearla en la navegación a vela a lo largo del río Nilo, aprovechando la fuerza del viento para impulsar sus embarcaciones y facilitar el comercio y el transporte.

El uso de molinos impulsados por el viento tiene un origen igualmente antiguo. En el siglo VII a.C., en las regiones centrales de Asia, estos ingenios mecánicos ya estaban en funcionamiento, principalmente para actividades como el riego y la molienda. Los primeros molinos de viento conocidos eran de diseño vertical, con un eje central y aspas horizontales sujetas a una rueda horizontal.

En Europa, los primeros indicios de molinos de viento aparecieron en el siglo XII, principalmente en Francia e Inglaterra, extendiéndose rápidamente por todo el continente. Estos primeros molinos eran estructuras de madera, conocidas como "torres de molino", que se podían girar manualmente alrededor de un poste central para orientar las aspas hacia la dirección del viento.

El diseño del molino de torre, que se popularizó en el siglo XIV en Francia, representó un avance significativo en la tecnología de los molinos de viento. Consistía en una torre de piedra que albergaba una estructura giratoria de madera que sostenía el eje del molino y la maquinaria superior. Desde la parte superior de la torre sobresalía un eje horizontal, del cual se extendían de cuatro a ocho aspas, con longitudes que oscilaban entre 3 y 9 metros. Estos molinos tenían una variedad de aplicaciones, incluida la molienda de cereales, la preparación de pasta de papel, el prensado de aceitunas y el bombeo de agua, entre otros.

Durante el siglo XIX, en Holanda, se llevó a cabo una notable expansión en la construcción de molinos de viento, con alrededor de 9,000 unidades erigidas en todo el país. Muchos de estos molinos fueron utilizados para bombear agua en los pólderes, contribuyendo así a la gestión del agua y a la expansión de tierras cultivables. El uso de molinos para el bombeo de agua se mantuvo generalizado a lo largo de todo el siglo XIX, demostrando la versatilidad y la eficacia de esta antigua tecnología en diversas aplicaciones prácticas.

Cuando la migración desde Europa llevó esta tecnología a Norteamérica a fines del siglo XVIII y principios del XIX, los molinos de viento comenzaron a desplegar un papel crucial en la región. Inicialmente utilizados para bombear agua en granjas y ranchos, pronto evolucionaron para satisfacer las crecientes necesidades de electricidad en hogares e industrias. La segunda mitad del siglo XIX marcó un hito significativo en la evolución de la tecnología eólica con la introducción del popular molino multipala americano, que se empleó extensamente para el bombeo de agua en todo el mundo. Las características de este diseño influirían en el desarrollo de los generadores eólicos modernos en años venideros.

En 1887, el científico estadounidense Charles F. Brush (17 de marzo de 1849 - 15 de junio de 1929) construyó lo que hoy se reconoce como la primera turbina eólica diseñada específicamente para la generación de electricidad. Este gigante, el más grande de su época, presentaba un rotor con un diámetro de 17 metros y 144 palas fabricadas en madera de cedro. Durante dos décadas, este generador suministró energía, cargando las baterías instaladas en el sótano de la residencia de Brush. A pesar de sus dimensiones imponentes, la potencia generada por este dispositivo apenas alcanzaba los 12 kW, reflejando las limitaciones de eficiencia inherentes a este tipo de turbinas en ese momento.

Fue el científico danés Poul la Cour (13 de abril de 1846 - 24 de abril de 1908) quien, más adelante, hizo un descubrimiento crucial: las turbinas eólicas con un menor número de palas en el rotor resultan más eficientes para la generación de electricidad en comparación con las turbinas de múltiples palas. La razón radica en que estas turbinas de menor número de palas pueden alcanzar velocidades de rotación mucho mayores que aquellas construidas según el diseño de Brush. En 1899, diseñó lo que puede considerarse como el primer generador eólico moderno, su diseño guardaba una notable similitud con los icónicos molinos de viento que Cervantes recreaba en "Don Quijote" cuatro siglos antes.

El fundamento teórico para la explotación de la energía eólica con el fin de generar electricidad tuvo su origen en Alemania durante la segunda década del siglo XX, gracias en gran medida a los aportes de Albert Betz (25 de diciembre de 1885 - 16 de abril de 1968), un físico alemán. En 1919, Betz formuló la ley que lleva su nombre.

El avance pionero en el desarrollo de la energía eólica en Europa se produjo en Dinamarca, donde adquirió una relevancia significativa durante el primer cuarto del siglo XX, contribuyendo de manera notable a la implementación de un modelo descentralizado de electrificación en el país. Para el año 1908, ya se contabilizaban en Dinamarca 72 generadores eólicos, con capacidades que variaban entre los 5 kW y los 25 kW, marcando así el inicio de una era de aprovechamiento de energía renovable que continuaría expandiéndose en las décadas siguientes.

1.2. Importancia y crecimiento de la energía eólica a nivel mundial

El crecimiento de la energía eólica a nivel mundial ha sido significativo en los últimos años. Según la Agencia Internacional de la Energía, en 2021, de los

830 gigavatios (GW) de capacidad eólica instalados, el 93% proviene de parques eólicos terrestres y el 7% de marinos. Para alcanzar la neutralidad climática, se espera un desarrollo significativo en la energía eólica, con un objetivo anual de generación de energía de 8,000 teravatios-hora (TWh) para 2030

En 2020, la capacidad mundial de energía eólica alcanzó los 744 GW, con un crecimiento de 93 GW en ese año. Este crecimiento se refleja en países como Brasil, que se consolidó como el tercer país en capacidad de generación nueva en 2020, y Estados Unidos, que contribuyó con la construcción de 17 GW en el mismo año. Además, Rusia triplicó su potencial eólico en 2020, avanzando significativamente en el sector a escala internacional.

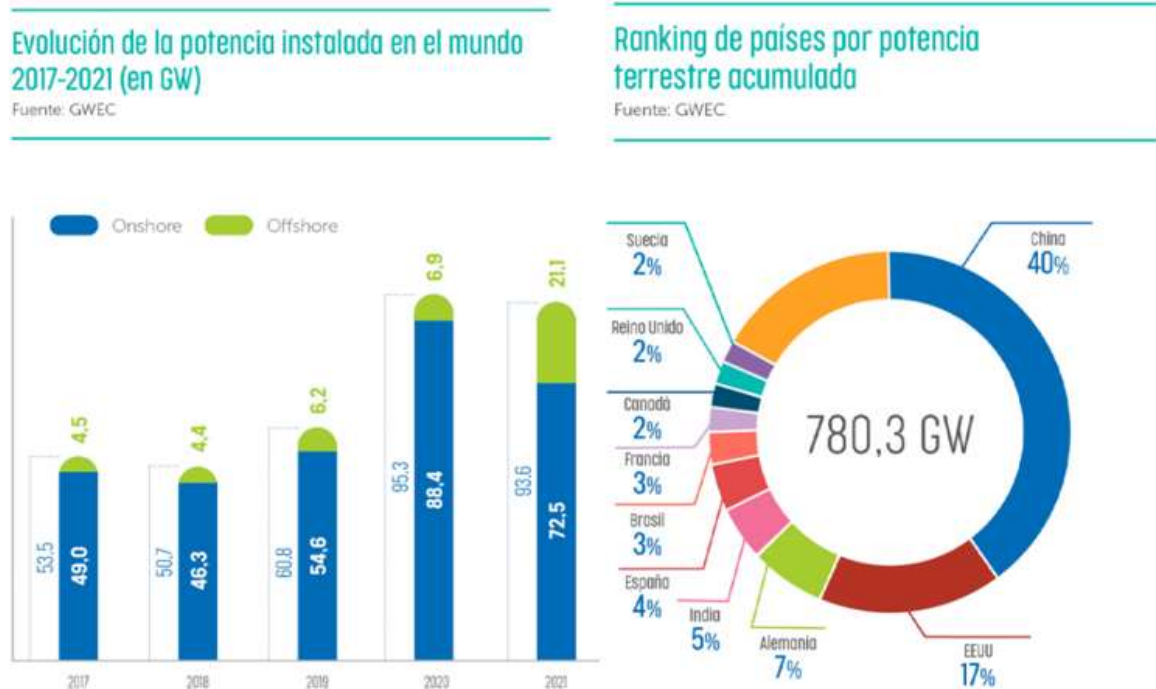


Figura 1.1 – Países con mayor generación eléctrica a partir de energía eólica (1).

1.3. Realidad actual de la energía eólica en el país.

El crecimiento de la energía eólica en el sector energético de El Salvador ha sido notable. En los últimos años, el país centroamericano ha avanzado significativamente en la utilización de la energía eólica para generar energía limpia y renovable. Este progreso ha contribuido no solo a reducir la dependencia de combustibles fósiles, sino también a los esfuerzos del país por mitigar el cambio climático y promover el desarrollo sostenible.

El Salvador posee condiciones geográficas que favorecen el desarrollo de la energía eólica. Su terreno montañoso y los vientos alisios aportan un recurso eólico que puede utilizarse para la generación de electricidad.

En reconocimiento de este potencial, en 2016, La distribuidora eléctrica DelSur licitó 150 megavatios de energía renovable, distribuidos en 100 megavatios de energía solar fotovoltaica y 50 megavatios de energía eólica. El período de suministro para ambos bloques fue establecido en 20 años, con inicio previsto en 2019. (31).

Estas subastas han atraído inversiones significativas de empresas locales e internacionales interesadas en aprovechar el creciente mercado de energía eólica de El Salvador. Entre los proyectos más destacados se encuentra el Parque Eólico Ventus, una instalación de 54 MW de potencia, desarrollada por un consorcio de inversionistas locales y extranjeros, incluyendo la empresa energética estadounidense AES Corporation y el conglomerado guatemalteco Corporación Multi Inversiones.

En 2023 se inyectaron a la red eléctrica nacional 7,386 GWh, de los que 3,187 GWh (43.1%) procedían de recursos térmicos y los 4,199 GWh restantes (56.9%) de cinco fuentes renovables: geotérmica (20%), hidroeléctrica (21%), biomasa de la caña de azúcar -aprovecha el bagazo- (7.2%), solar (7.3%) y eólica

(2.3%). Esta información corresponde al informe estadístico anual de 2023 de la UT, la institución que administra el mercado eléctrico del país. Tal como se mencionó en puntos anteriores, la energía eólica en El Salvador no es muy utilizada.

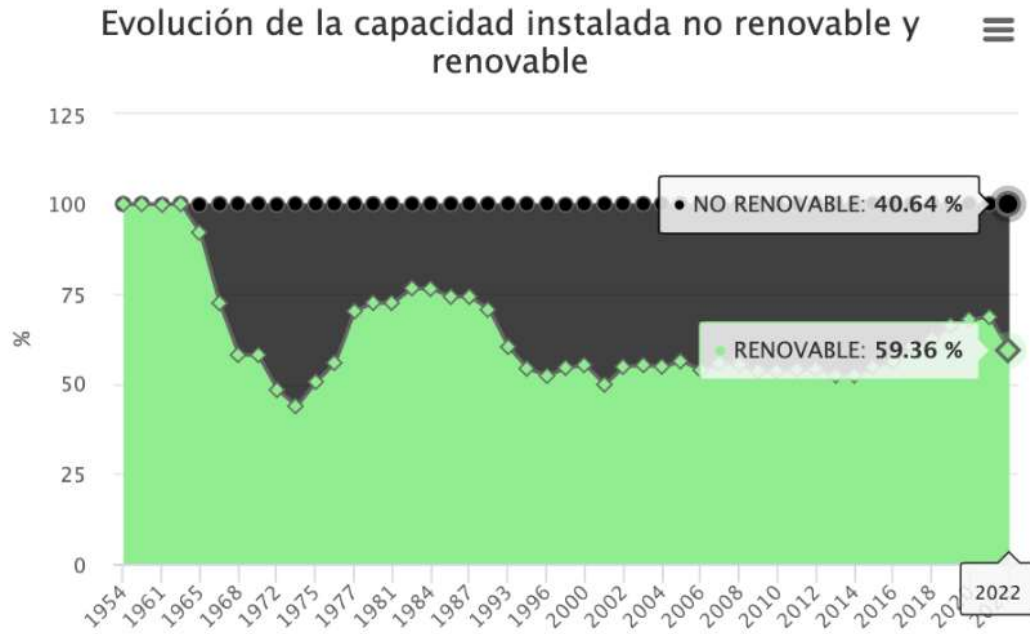


Figura 1.2 – Imagen extraída de la web de la DGEHM, donde se compara el peso de las renovables en la matriz energética (2).

Capítulo 2: Tecnología y Equipamiento Utilizado en Sistemas Eólicos.

2.1. Clasificación de la tecnología eólica.

En el aprovechamiento energético del viento, las máquinas eólicas permiten resolver, desde aplicaciones de pequeña potencia para bombeo de agua o electrificación rural (máquinas de pequeña potencia), hasta parques eólicos (instalaciones de gran potencia) conectados a la red eléctrica.

En todos los casos, estas máquinas están constituidas por los mismos elementos básicos: un elemento móvil de captación de energía cinética del viento, denominado rotor, que se acopla a un eje que se conecta al equipo correspondiente según la finalidad.

Existen diversas formas de clasificar una máquina eólica, de acuerdo a los siguientes parámetros mostrados en la figura 2.1.

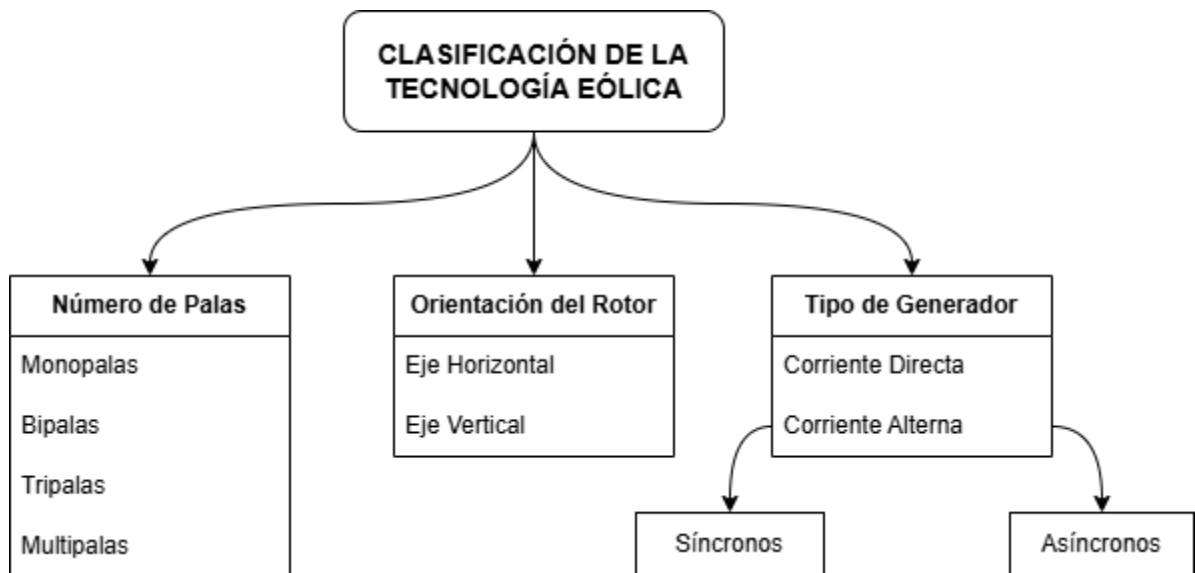


Figura 2.1 – Clasificación de la tecnología Eólica.

2.1.1. Número de palas

La potencia mecánica que un generador eólico puede extraer del viento es producto de su velocidad angular y del torque aplicado por el viento. El torque es el momento aplicado en el centro de rotación debido a la fuerza de lanzamiento aplicado por el viento en las aspas. Para una cantidad de potencia dada a menor velocidad angular mayor será el torque y a mayor velocidad angular menor será el torque. Por lo anterior, los generadores usados para bombear agua, generalmente, cuenta con un gran número de aspas, mientras que los generadores de bajo número de aspas son mejores para la generación de electricidad, debido a que pueden operar a altas velocidades y por ello no requieren altas tasas de transmisión hacia el generador eléctrico

Así por el número de palas las máquinas eólicas pueden agruparse como:

- Máquinas monopalas y bipalas: existen un número pequeños de estos tipos de máquinas.
- Máquinas tripalas: la mayoría de las turbinas dedicadas a la generación eléctrica son de esta categoría.
- Máquinas multipala. Con un número variable de aspas, utilizadas básicamente para bombeo de agua.



*Figura 2.2 – Aerogeneradores monopala, bipala, y tripala
(Renovetec, 2019)(3)*

2.1.2. Por la orientación de su rotor

Los generadores eólicos modernos se presentan en 2 configuraciones básicas según la orientación de su rotor:

- Generadores eólicos de eje horizontal

Son las máquinas eólicas en las cuales el eje de rotación es paralelo a la dirección del viento. Son los más extendidos. Exigen una orientación continua de su eje, que debe mantenerse paralelo a la dirección del viento. Los pequeños motores eólicos de eje horizontal suelen estar equipados con gran número de palas.

Los grandes motores eólicos de eje horizontal suelen disponer de hélices, cada una con dos o tres palas. Estas máquinas se han beneficiado de los progresos técnicos de la aeronáutica para la realización de palas de gran tamaño. Pueden suministrar gran potencia, pero sólo son productivos cuando funcionan con vientos de velocidad media o fuerte, en cuyo caso, ofrecen un excelente rendimiento.



*Figura 2.3 – Generador eólico de eje horizontal
(persio9020, 2013)(4)*

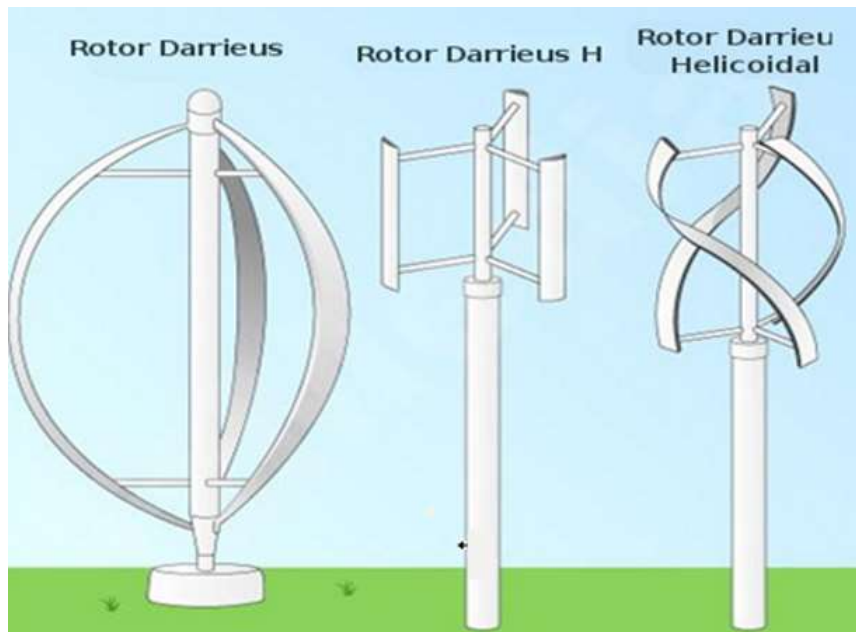


Figura 2.4 – Tipos de generadores de eje vertical (persio9020, 2013)(4)

– Generadores eólicos de eje vertical

Son las máquinas eólicas en las cuales, el eje de rotación es perpendicular a la superficie terrestre y a la dirección del viento.

- No necesitan orientarse en la dirección del viento.
- Presentan una buena eficiencia, pero debido a la forma de sus aspas son difíciles de construir, transportar e instalar
- Las máquinas eólicas de eje vertical no presentan grandes cargas gravitacionales en las aspas.

2.1.3. Por el tipo de generador eléctrico acoplado.

– De corriente continua.

Los aerogeneradores pequeños, que funcionan de forma aislada, no están conectados a la red eléctrica y suelen ser de corriente continua. Alimentan baterías para suministrar energía eléctrica a casas, granjas, etc.

- De corriente alterna
 - Aerogeneradores asíncronos: Los aerogeneradores de jaula de ardilla y rotor bobinado-DA destacan por su fácil conexión a la red, la ausencia de contactos móviles, la capacidad de admitir un ligero deslizamiento de velocidad respecto a la de sincronismo, y un sistema de control sencillo, además de ser los de menor costo entre los generadores de corriente alterna. Sin embargo, requieren estar acoplados a la red eléctrica para operar.
 - Aerogeneradores síncronos: Los aerogeneradores síncronos pueden generar energía reactiva, operar de forma autónoma y ofrecen un buen rendimiento bajo condiciones estables, además de soportar huecos de tensión. Sin embargo, deben operar a la velocidad de sincronismo, lo que limita su flexibilidad, y requieren sistemas de control y conexión más complejos, incluyendo convertidores y excitadores, para garantizar su sincronización y estabilidad.

2.2 Componentes de un aerogenerador

Los componentes principales de un aerogenerador y para qué sirve cada uno.

- **Palas.** Se podrán utilizar de una a tres palas girando suavemente. En el caso de perfiles aerodinámicos de baja área estructural y con baja generación de vórtices se obtienen mayores niveles de energía y mayor coeficiente de potencia.
- **Rotor.** Es el elemento donde van acopladas las aspas o palas. Normalmente, en el aerogenerador más habitual, tres palas van conectadas a un rotor.

- **Góndola** (también llamada nacelle). Habitáculo donde se encuentran los elementos que forman parte del generador eléctrico.
- **Anemómetro- Veleta.** Es un dispositivo que mide la velocidad del viento. Sirve para poner en funcionamiento o detener el aerogenerador, pues éste sólo funciona en un rango de velocidad del viento. A poca o demasiada velocidad del viento, las palas se detienen.
- **Buje.** Conecta el rotor con el eje de baja velocidad.
- **Eje de baja velocidad.** Entre el buje y el multiplicador. En un aerogenerador de 600 kW, el rotor gira muy lento, entre 19 y 30 revoluciones por minuto (rpm). Cuenta con un sistema hidráulico que hace funcionar los frenos aerodinámicos.
- **Eje de alta velocidad.** Gira, aproximadamente, a una velocidad de 1500 rpm, lo que permite el funcionamiento del generador eléctrico.
- **Generador.** Transforma la energía mecánica en energía eléctrica

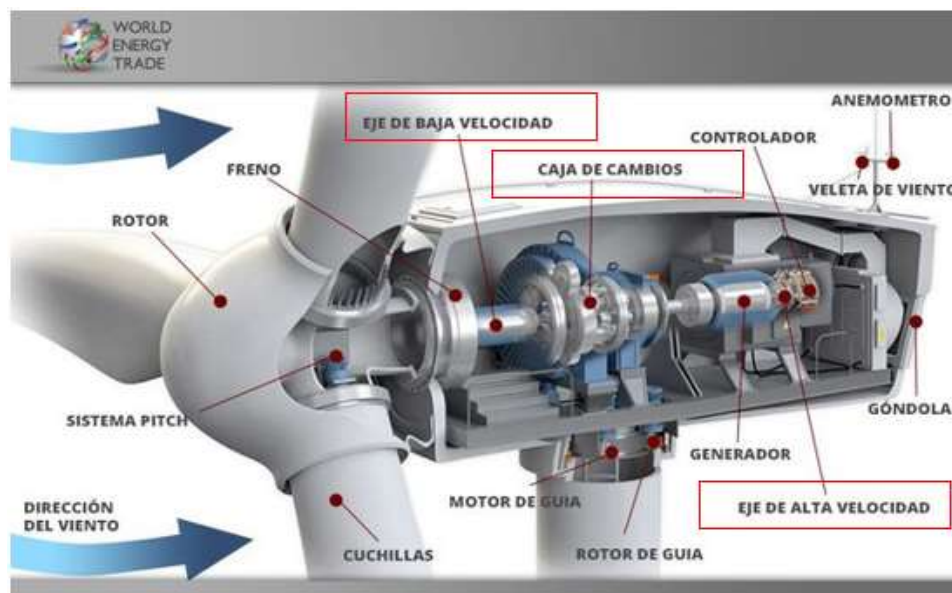


Figura 2.5 – Ejes de alta y bajas rpm y caja multiplicadora (Perez, 2022)(10)

- **Multiplicador.** Situado entre los dos ejes. Como su nombre indica, es el responsable de que el eje de alta velocidad gire cincuenta veces más rápido que el eje de baja velocidad.
- **Controlador.** Analiza las condiciones del viento y otras variables para aumentar la eficiencia del aerogenerador.
- **Unidad de refrigeración.** Tienen un ventilador eléctrico utilizado para enfriar el generador eléctrico. También lleva aceite para enfriar el aceite del multiplicador. Algunas turbinas tienen generadores refrigerados por agua.
- **La torre.** Soporta la góndola y el rotor. Como la velocidad del viento aumenta con la altura, se ha tendido a aumentar la altura de la torre. Los primeros aerogeneradores tenían una altura de 30 o 40 metros.



Figura 2.6 – Armazón de torre de un aerogenerador (Comision Europea, 2020)(12)

Capítulo 3: Selección de la Zona de Estudio y Caracterización Topográfica.

El potencial eólico en El Salvador está limitado por factores geográficos y topográficos, como las cadenas montañosas que obstaculizan corrientes de aire fuertes y la altitud baja respecto al nivel del mar, que reduce la velocidad del viento disponible.

A pesar de estas restricciones, se identificaron zonas con potencial significativo mediante una investigación basada en el “Proyecto del Plan Maestro para el Desarrollo de Energías Renovables”, que destacó las áreas más adecuadas para proyectos eólicos en el país. Estas zonas fueron seleccionadas a partir de mapas de potencial eólico que estiman la densidad de potencia del viento en función de su velocidad, utilizando datos recopilados a diferentes alturas: 30 m, 50 m y 80 m sobre el nivel del suelo.

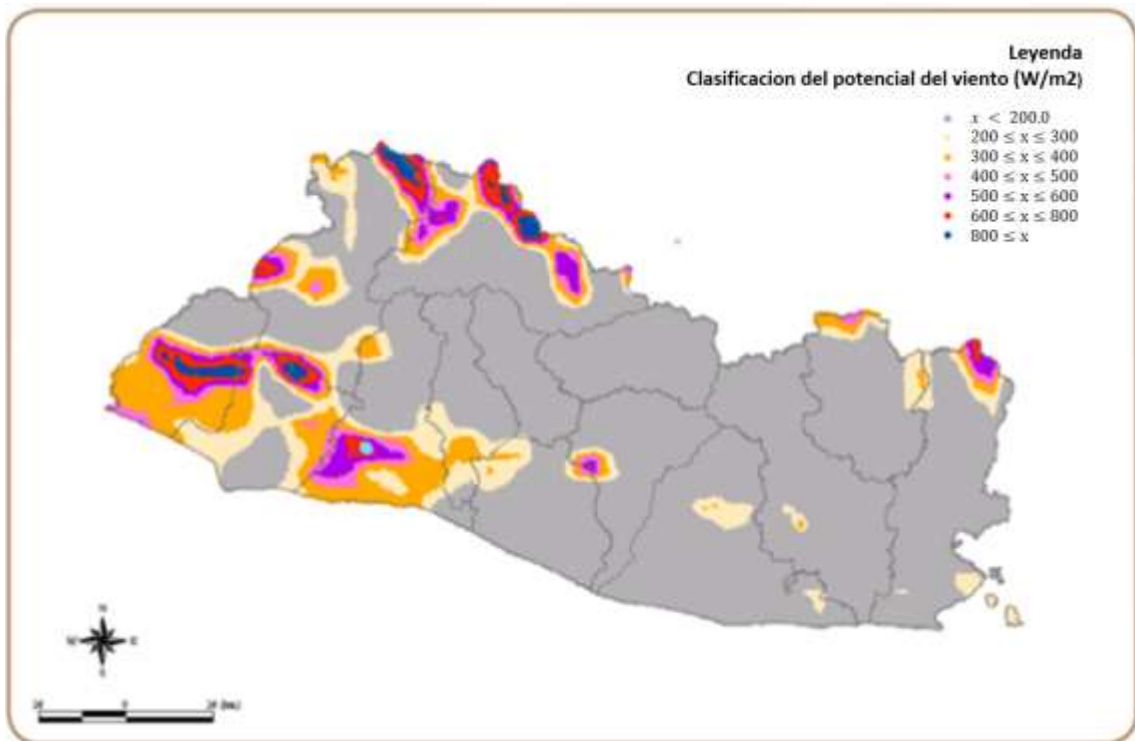


Figura 3.1 – Mapa de potencial eólico de El Salvador (30 metros sobre el nivel del suelo)(13).

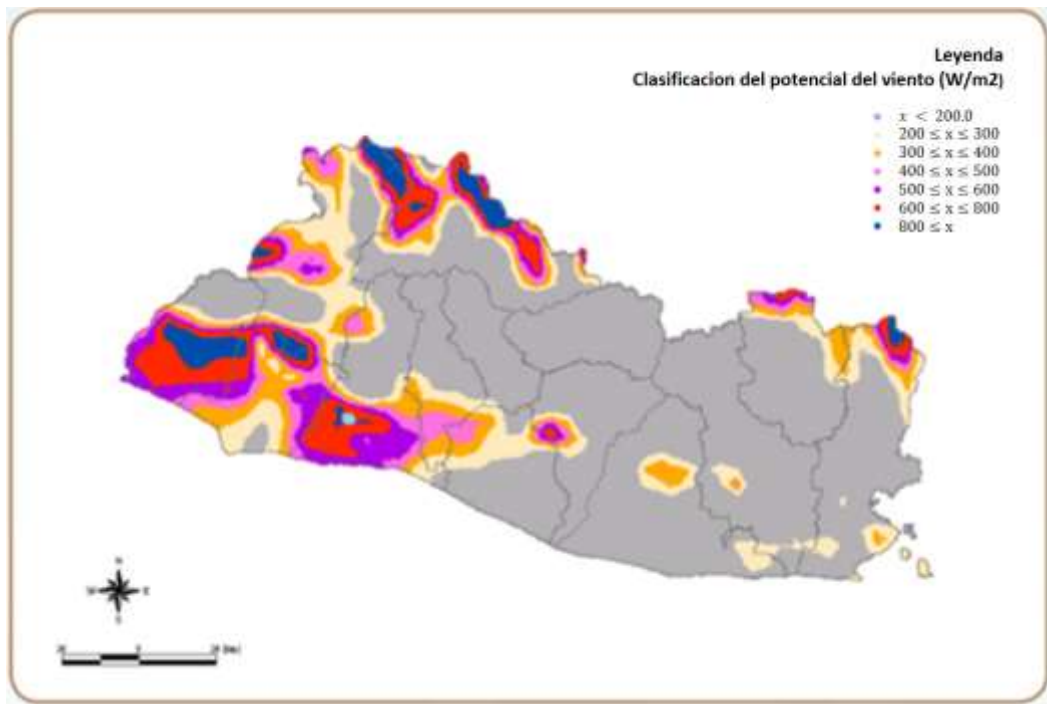


Figura 3.2 – Mapa de potencial eólico de El Salvador (50 metros sobre el nivel del suelo) (13).

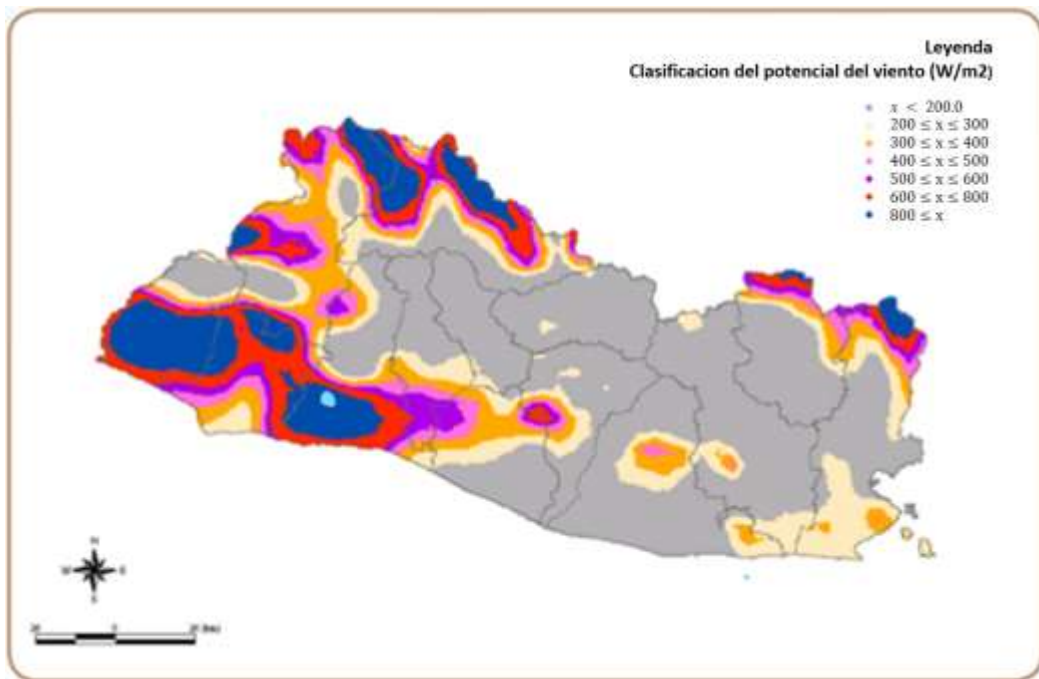


Figura 3.3 – Mapa de potencial eólico de El Salvador (80 metros sobre el nivel del suelo) (13).

Según el Laboratorio Nacional de Energías Renovables, una densidad de potencia eólica superior a 320 W/m^2 a 30 m y 400 W/m^2 a 50 m es suficiente para el desarrollo de proyectos eólicos. No obstante, para la selección de áreas en el país, se consideraron zonas con densidades superiores a 700 W/m^2 a 50 m, identificándose 12 áreas con este potencial.

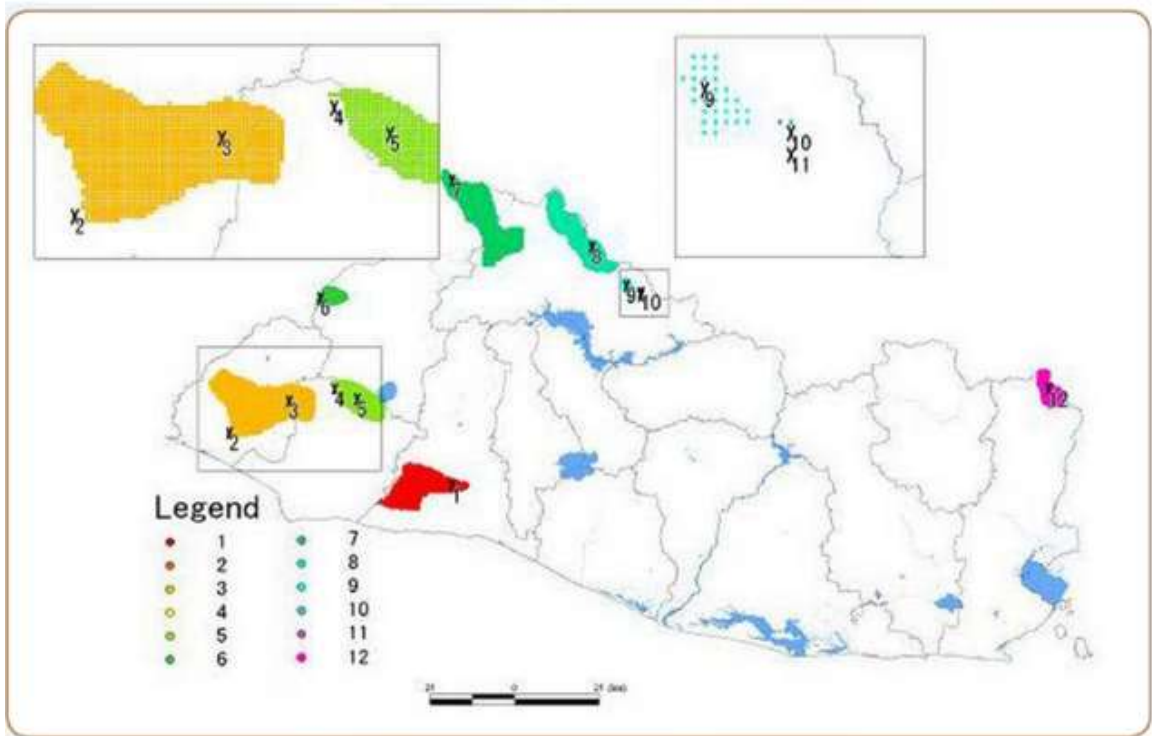


Figura 3.4 – Sitios con potencial eólico en El Salvador (13)

La figura 3.4 muestra varias zonas con potencial eólico, cuyas coordenadas se identifican con los sitios:

1. Cordillera del Bálsamo; 13.6181 -89.3773
2. Parque Nacional El Imposible; 13.7569 -89.9653
3. Apaneca; 13.8403 -89.8079
4. Cerro Los Naranjos (Sonsonate); 13.8727 -89.6875
5. Volcán de Santa Ana Ilamatepec; 13.8449 -89.6273

6. Volcán Chingo (Frontera con Guatemala); 14.1134 -89.7245
7. Parque Nacional Montecristo - El Trifinio; 14.4236 -89.3773
8. El Pital, hasta Parque Ecológico El Manzano; 14.2477 -89.0069
9. La Montañona (Chalatenango); 14.1458 -88.9144
10. La Montañona (Chalatenango); 14.1279 -88.8773
11. La Montañona (Chalatenango); 14.1181 -88.8773
12. El Cimarrón (La Unión frontera con Honduras); 13.8727 -87.7986

3.1. Selección de Zona de Estudio

Los principales factores considerados para la selección de la zona de estudio fueron los siguientes:

- Potencial considerable mayor a 800 W/m², a 80 metros de altura.
- El lugar seleccionado debe ser de acceso público, o contar con la posibilidad de gestionar permisos con los propietarios.
- Topografía del lugar.
- Proximidad al área de residencia del grupo de trabajo.
- Accesibilidad a la zona.

Considerando todos los factores mencionados, se prosiguió a evaluar las distintas zonas, siendo más favorables las zonas ubicadas sobre la cordillera del bálsamo.

El lugar seleccionado fue la Finca Marina cumbre, ubicada a las cercanías del municipio de Jayaque en el departamento de la libertad.



Figura 3.5 – Localización de la Finca Marina Cumbre (Fuente, Google Maps)

3.2. Reconocimiento del Lugar

Posteriormente, el equipo se desplazó a la zona seleccionada, con el objetivo de inspeccionar la topografía del lugar, y evaluar la posibilidad de conseguir los permisos pertinentes para ingresar al lugar de estudio.



Figura 3.6 Foto de 2 integrantes del equipo con el encargado de la Finca (Fuente propia).

Es aquí donde el equipo conoció a Don Francisco, originario de la zona y representante del dueño de las manzanas de terreno donde se ubica en lugar de estudio. Con el permiso requerido para la realización de las mediciones, se realizó la caracterización geográfica del punto de estudio:

- Latitud / Longitud: 13.6460766666° / -89.45584666667°
- Altitud sobre el nivel del mar: 1279 metros

Aunque la topografía del área está dominada por montañas, los propietarios han iniciado el proceso de nivelación del terreno, lo que facilitará significativamente el desarrollo del proyecto al reducir los obstáculos, permitiendo una evaluación más precisa del recurso eólico.



Figura 3.7 – Ubicación seleccionada para la toma de mediciones (Fuente propia).

Capítulo 4: Recolección y Análisis de Datos del Recurso Eólico

Una vez alcanzado el primer objetivo específico, la selección de una ubicación idónea para el estudio, el equipo de trabajo pudo proceder con el segundo objetivo, el cual consiste en la recopilación y análisis de datos de las variables de interés con el fin de obtener una evaluación preliminar del potencial eólico en la zona seleccionada.

Para cumplir con este propósito, se llevaron a cabo visitas técnicas al sitio durante un periodo de 16 semanas, distribuidas en un total de 9 intervenciones en campo. Durante estas visitas, se realizaron mediciones sistemáticas de las variables necesarias para la evaluación del recurso eólico.

4.1. Metodología de Recolección

Las variables medidas son:

1. Velocidad del viento
2. Dirección del viento
3. Temperatura ambiental
4. Altura de medición
5. Hora de registro

4.1.1 Instrumentos de Medición

Para la medición de las cinco variables mencionadas, se emplearon tres instrumentos principales: un anemómetro, una brújula y una computadora portátil para el registro de datos. La tabla 4.1 presenta estos instrumentos junto con los auxiliares utilizados.

Tabla 4.1 – Instrumentos utilizados para la toma de registros del viento.

Instrumento	Función
Anemómetro	Medir la velocidad promedio del viento y la temperatura ambiental
Brújula	Determinar la dirección del viento durante las mediciones.
Computadora Portátil	Registrar y almacenar todos los datos relacionados con las mediciones del viento.
Soporte de montaje para anemómetro	Establecer la altura de medición conocida y confiable. Se utilizaron tubos de PVC de 1 pulgada de diámetro y de un metro de longitud, ensamblados mediante acoples del mismo material. El anemómetro se fijó en la parte superior del primer tubo, y se añadieron secciones adicionales para alcanzar la altura deseada en intervalos de un metro.
Indicador visual de dirección de viento	Determinar la dirección del viento. Inicialmente se utilizó un cono de tela ligera de un metro de longitud, pero las bajas velocidades del viento dificultaron su funcionamiento. En su lugar, se empleó un pedazo de bolsa plástica, que demostró ser más efectivo.



Figura 4.1 – Indicadores de dirección de viento utilizadas por el equipo (Fuente propia)

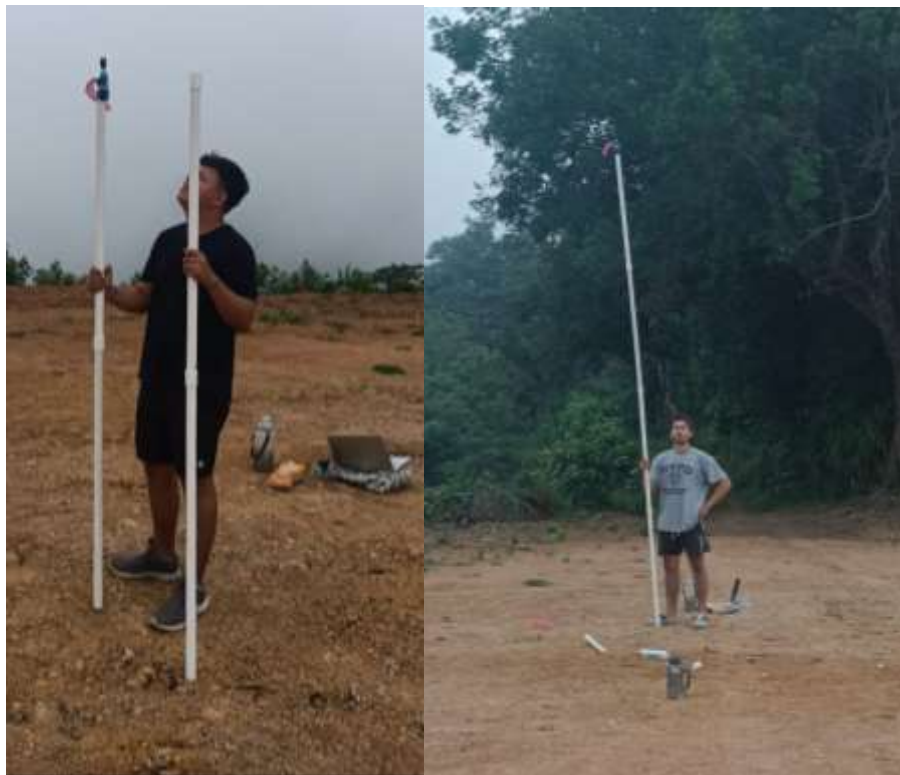


Figura 4.2 – Dispositivo del anemómetro a diferentes alturas de medición (fuente propia)

El instrumento utilizado para las mediciones de viento fue el Medidor Digital de Velocidad de Aire de la marca Steren, un anemómetro digital sencillo que incluye entre sus principales especificaciones:



Figura 4.3 - Medidor digital de velocidad de aire Steren (Fuente propia).

- Alimentación: 4,5 V (3x AAA)
- Rango de medición: 0 - 30 m/s
- Resolución: 0.1 m/s
- Precisión: $\pm 5\%$
- Tiempo de muestreo: 0.5s
- Temperatura de operación: 0 °C – 40 °C
- Función de auto apagado: 5 minutos
- Funciones adicionales: cálculo de promedio, velocidad máxima de aire, retención de datos HOLD, y lectura de temperatura.

4.1.2 Procedimiento de registro de datos

Dado que el viento es un fenómeno altamente variable, con cambios en su velocidad de un segundo a otro, es necesario definir un criterio de medición que permita obtener información útil. Para esto, las estaciones meteorológicas suelen registrar la velocidad media del viento, que corresponde al promedio aritmético de las velocidades medidas en intervalos de 10 minutos.

Dado que no se contaba con un anemómetro de registro automático, se optó por establecer ciclos de medición correspondientes a dichos intervalos, detallados en la siguiente tabla:

Tabla 4.2 – Ciclo de medición de velocidad y dirección de viento

Tiempo	Actividad
1 min	Ensamble de tubos PVC y posicionamiento del anemómetro.
5 min	Captura de velocidades de viento con anemómetro en función AVG
2 min	Cálculos de dirección promedio de dirección de viento
1 min	Registro de datos
1 min	Preparación para el siguiente ciclo de medición

Se registró la velocidad promedio del viento utilizando la función de cálculo promedio (AVG) del anemómetro durante 5 minutos. Esta función permitió obtener una medida representativa de la velocidad del viento en cada ciclo de medición.

En cuanto a la dirección del viento, durante los ciclos de medición se observó que, generalmente, esta se mantenía relativamente constante, con pequeñas variaciones de solo algunos grados. En estos casos se registró el promedio calculado de esos grados en dicha dirección.

Sin embargo, si se detectaba un cambio significativo en la dirección del viento —es decir, una variación superior a 45°— se tomaba la dirección predominante de las ráfagas más fuertes durante dicho ciclo de medición, y de igual manera se registraba el promedio calculado en dicha dirección.

La metodología para la medición del viento en cada ciclo de medición queda detallada en la figura 4.4.

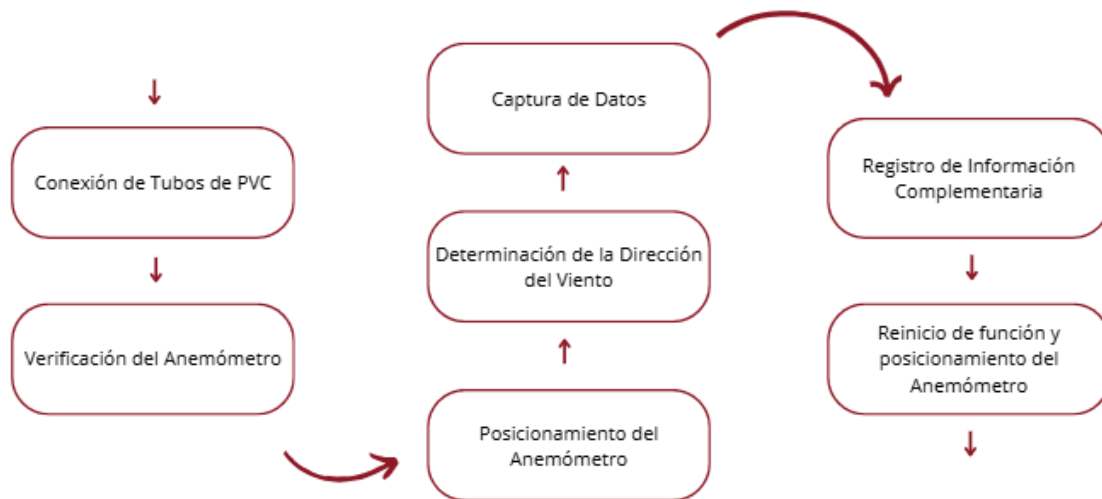


Figura 4.4 – Procedimiento para completar un ciclo de medición de viento

Cabe aclarar que, si el siguiente ciclo de medición se realiza a la misma altura de medición, el primer paso de conexión de los tubos se omite, ya que permanece igual.

4.2. Registro de datos eólicos

Las variables de interés recolectadas durante cada ciclo de medición fueron sistemáticamente registradas en hojas de cálculo Excel, lo que facilitó el posterior procesamiento y análisis de los datos. Los registros se organizaron en tablas separadas para cada fecha de visita.

La dirección en cada registro se interpreta bajo el siguiente esquema:

- La primera letra indica la orientación inicial del viento

- Los dígitos intermedios corresponden al número de grados de desviación respecto a la orientación inicial.
- La letra final indica la dirección hacia la cual se desvió el viento a partir de la orientación inicial.

Tabla 4.3 – Formato definido para el registro de datos eólicos

13°65'N 89°46'O			1298.1 m		
7/4/2024					
	VELOCIDAD [m/s]	DIRECCIÓN	TEMPERATURA [°C]	ALTURA DE MEDICION [m]	HORA
1	0.8	N20O	29.4	2	9:40:00 AM
2	1.5	N15E	29.5	2	9:50:00 AM
3	2	N10E	29.3	2	10:00:00 AM
4	0	N45O	29.5	2	10:10:00 AM
5	0.8	N40O	29.4	2	10:20:00 AM
6	1.5	N10E	30.9	2	10:30:00 AM
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-

4.3. Tratamiento de los datos eólicos

Inicialmente, las mediciones se realizaron a una altura de entre 4 y 5 metros. Sin embargo, debido a la inestabilidad del material PVC a esa altura, el tiempo y cuidado adicional requerido para elevar el anemómetro, y la falta de una diferencia significativa en la velocidad del viento a esa altura, se decidió realizar las mediciones a 2 metros sobre el nivel del suelo.

Estos datos no representan directamente el potencial eólico aprovechable a mayores alturas. Por lo tanto, es necesario ajustar los valores obtenidos para estimar con mayor exactitud el recurso disponible en las alturas de interés para

su aprovechamiento energético, considerando factores locales como la topografía y rugosidad de terreno.

4.3.1. Perfil de Velocidad del Viento

A medida que nos alejamos del suelo, la velocidad del viento tiende a aumentar. Esto ocurre porque cerca de la superficie terrestre, el viento encuentra resistencia debido a la rugosidad del terreno y obstáculos como árboles o edificaciones. A mayor altura, esa resistencia disminuye, permitiendo que el viento fluya con más fuerza y de manera más constante.

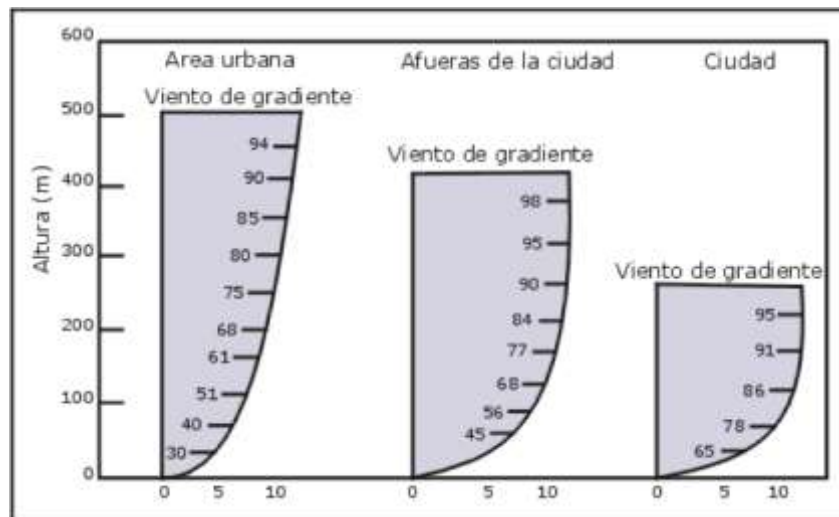


Figura 4.5 - Comportamiento de perfiles de velocidad del viento en diferentes tipos de área. (Fuente: Perfil de velocidad del viento. ATMOS)

El comportamiento del viento cambia conforme nos alejamos de la superficie terrestre, influenciado por tres capas principales: la capa superficial, la capa de Ekman y la atmósfera libre.

1. Capa superficial: Esta capa se extiende desde el nivel del suelo hasta aproximadamente 100 metros. En esta zona, el viento se ve

fuertemente afectado por la fricción con el terreno y por obstáculos como edificaciones o vegetación, lo que reduce considerablemente su velocidad y provoca variaciones en su flujo.

2. Capa de Ekman: La capa de Ekman es donde el viento aún se ve afectado por la fuerza Coriolis, que provoca una desviación en su dirección y un cambio gradual en su velocidad con la altura. Por eso, en esta capa, el perfil de viento sigue mostrando una curva.
3. Atmósfera libre: Una vez que el viento alcanza esta altura, la influencia de la fricción se reduce significativamente, lo que permite que el viento fluya de manera más uniforme y estable, resultando en un perfil prácticamente constante a mayores alturas.

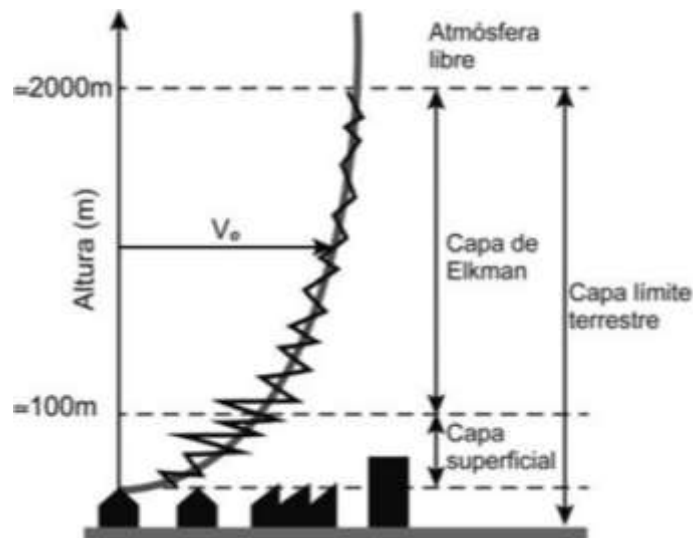


Figura 4.6 – División del perfil de velocidades de viento (18)

4.4.1 Modelo Logarítmico del Perfil del Viento

Durante el tiempo, varios autores han propuesto modelos para representar el perfil de velocidad del viento a lo largo de la altura. Uno de los modelos más utilizados es el modelo logarítmico, propuesto por Monin-Obukhov, que opera

adecuadamente en base ciertos parámetros que permiten la extrapolación de datos de viento en la atmosfera:

- Condiciones de estabilidad atmosférica neutra. Esto significa que el modelo es aplicable cuando la temperatura de la superficie del suelo no difiere significativamente de la temperatura del aire en la atmósfera.
- Altura mínima recomendada para la medición de la velocidad del viento es típicamente de 10 metros sobre el nivel del suelo.
- Altura máxima de extrapolación en el modelo logarítmico es de 100 metros.
- En términos generales, en base a los límites previamente mencionados, se puede considerar un rango efectivo de extrapolación de 90 metros.

Expresión para representar la ley de variación de velocidad del viento:

$$V = V_0 \frac{\log (H/Z_0)}{\log (H_0/Z_0)}$$

Donde:

V: velocidad del viento a estimar a altura H

V₀: velocidad de referencia

H₀: altura de referencia

H: altura de interes

Z₀: longitud relativa de rugosidad del suelo

El término Z_0 , la longitud relativa de rugosidad en metros, refleja la rugosidad de la superficie, entendida por el autor J. Wieringa (2001), como la capacidad de una superficie para transformar la energía del viento que fluye sobre ella en movimiento turbulento.

Tabla 4.4 – Clasificación de la rugosidad de Davenport revisada por Wieringa et al. (2001).

Clases	Rugosidad Z_0 en m	Rasgos del paisaje
Sup. Acuáticas	0.0002	Aguas abiertas (mar, lago, embalse, nieve sobre terreno plano, desiertos, etc.)
Suave	0.005	Superficie sin obstáculo notable y sin vegetación (playas, hielo, pantano, etc.)
Abierto	0.03	Terreno llano con gramíneas o muy poca vegetación.
Aprox. Abierto	0.1	Área cultivada o natural con cobertura vegetal baja.
Rugoso	0.25	Área natural o cultivada con cultivos altos, obstáculos porosos escasos o con objetos sólidos (edificaciones).
Muy rugoso	0.5	Zona de cultivos intensos con obstáculos en grupos (granjas, plantaciones, frutales, bosques jóvenes, zonas urbanas de baja altura).
Rasante	1.0	Zonas con obstáculos altos de altura similar y separación de igual distancia que altura. (bosques adultos y zonas urbanas densas)
Caótico	2.0	Centros de las ciudades con mezcla de edificaciones de alturas diversas, o bosques de altura irregular.

La topografía del área se caracteriza por vegetación densa, árboles altos y suelos irregulares, con ausencia de planicies naturales salvo las superficies modificadas por los dueños de la finca.

Sin embargo, la zona seleccionada para la toma de mediciones presenta características topográficas particulares. Al sur, no existen obstáculos significativos que bloqueen directamente el viento, lo que permite que este fluya de manera más uniforme hacia el punto de medición. En contraste, al norte, la topografía es más elevada, lo que genera alteraciones en los vientos que llegan al punto de medición desde esa dirección debido a los cambios impuestos por la

montaña y la vegetación. Estas diferencias hacen necesario considerar valores de rugosidad variables según la dirección del viento.

Con el objetivo de obtener resultados más confiables y representativos, y de evaluar el impacto del valor de Z_0 , los datos se analizarán de dos formas:

1. Usando un valor constante de rugosidad $Z_0 = 0.5$.
2. Aplicando un valor de rugosidad variable, con $Z_0 = 0.5$ para los vientos con dirección al norte, y $Z_0 = 1$ para los vientos con dirección al sur.

4.4. Perfil de Viento Utilizando Modelo Logarítmico

Aunque el modelo logarítmico se recomienda idealmente para alturas iniciales de al menos 10 metros sobre el nivel del suelo, nuestras mediciones se realizaron a 2 metros debido a las limitaciones explicadas anteriormente. Aun así, aplicamos el modelo logarítmico a nuestros datos para analizar el perfil de viento y evaluar si es acertado utilizar esta fórmula en las condiciones de medición realizadas.

Dado que la mayoría de los vientos registrados tienen dirección hacia el norte, el perfil de viento fue calculado utilizando el promedio de las velocidades correspondientes a esta dirección.

Al aplicar el modelo logarítmico y graficar el perfil de velocidad a diferentes alturas, se observa en la figura 5.7 que este presenta un comportamiento consistente con el perfil teórico esperado para áreas “afueras de la ciudad” en la figura 5.5.

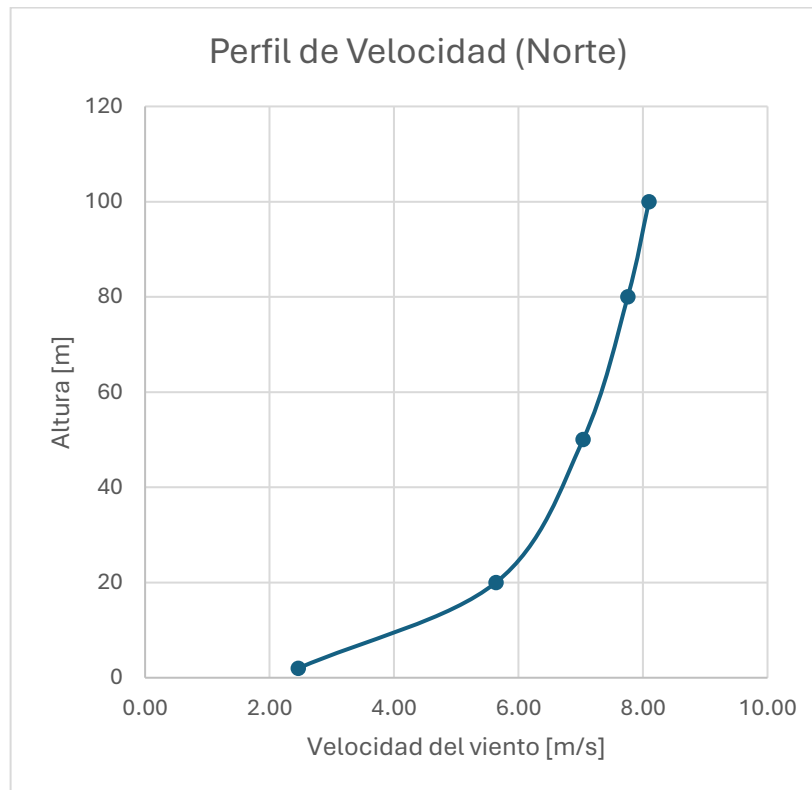


Figura 4.7 – Perfil de Velocidad con modelo logarítmico Monin-Obukhov para vientos con dirección hacia el norte.

Cabe destacar que durante abril y principios de mayo se registraron eventos climatológicos extraordinarios que modificaron las condiciones típicas de la región. Según el reporte emitido el 13 de abril de 2024 por la Dirección General del Observatorio de Amenazas y Recursos Naturales, se presentaron vientos acelerados del noreste del Caribe, con ráfagas de 30 a 50 km/h, alcanzando valores más altos en áreas donde la topografía favorece su aceleración. (32)

4.5. Análisis de Datos mediante la Distribución de Weibull

La curva de distribución de Weibull muestra la frecuencia de diferentes velocidades del viento basadas en los datos recopilados. Esta curva representa

la velocidad del viento sin considerar su orientación, ya que la orientación no afecta la potencia del viento.

La expresión matemática de la distribución de Weibull permite predecir la probabilidad de que el viento tenga una velocidad específica, basándose en datos históricos de mediciones realizadas en el sitio de interés.

Probabilidad de Weibull:

$$f_{(v)} = \left(\frac{k}{c}\right) \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \left(e^{-(v/c)^k}\right)$$

Donde:

- $f_{(v)}$: *funcion de densidad de probabilidad de Weibull*
- v : *velocidad del viento esperada*
- k : *factor de forma (grado de dispersion de los datos)*

$$k = \frac{\pi}{S\sqrt{6}}$$

- S : *desviacion estandar*

$$S = \sqrt{\frac{\sum(\ln x_i - x)^2}{n - 1}}$$

- c : *factor de escala*

$$c = e^A$$

- A : *factor A*

$$A = x + \frac{0.5772}{k}$$

- x : *media aritmetica*

$$x = \frac{\sum_i^n (\ln x_i)}{n}$$

Utilizando estas expresiones y la ecuación de probabilidad de Weibull, se evaluó la probabilidad del viento para velocidades desde 0 hasta 40 m/s. Los resultados se presentan en las siguientes gráficas.

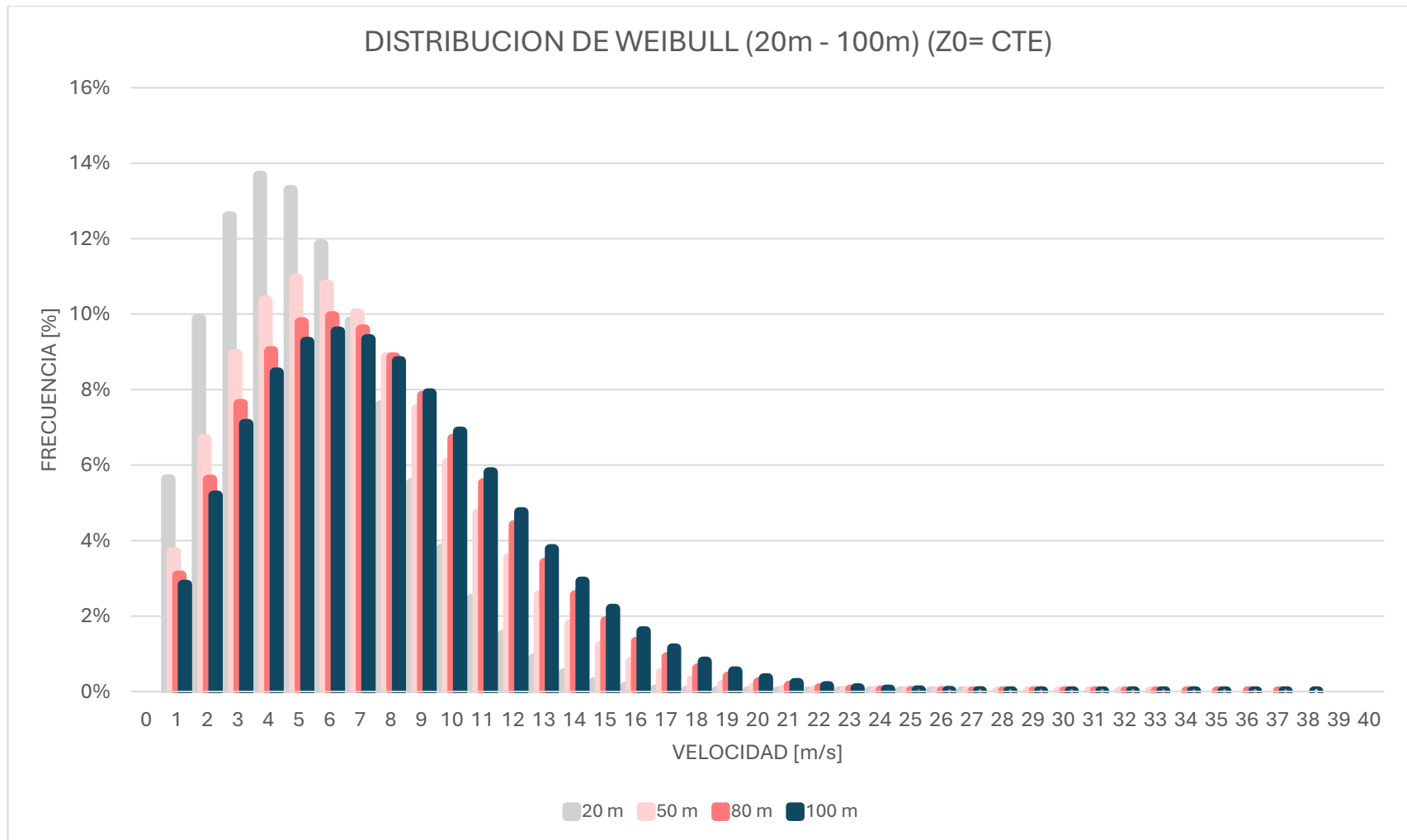


Figura 4.8 - Curva de frecuencia de velocidades para vientos considerando rugosidad constante $Z_0=0.5$.

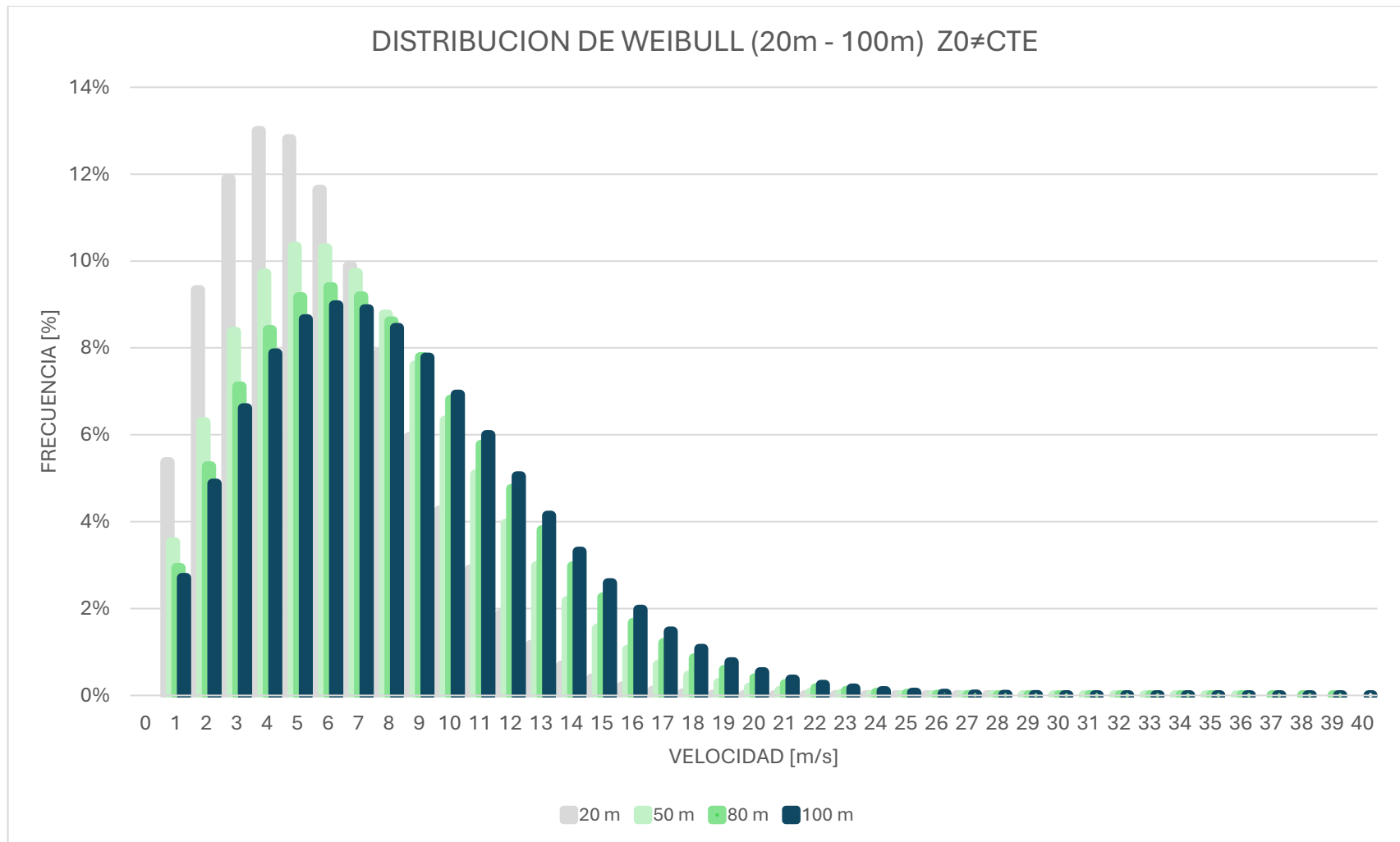


Figura 4.9 - Curva de frecuencia de velocidades para vientos variando la rugosidad a $Z_0=1.0$ para vientos hacia el sur.

Se observó un ligero ensanchamiento en el lado derecho de la distribución, lo cual se atribuye al factor de rugosidad de 1.3 que afecta principalmente a los vientos con dirección sur, los cuales son relativamente pocos.

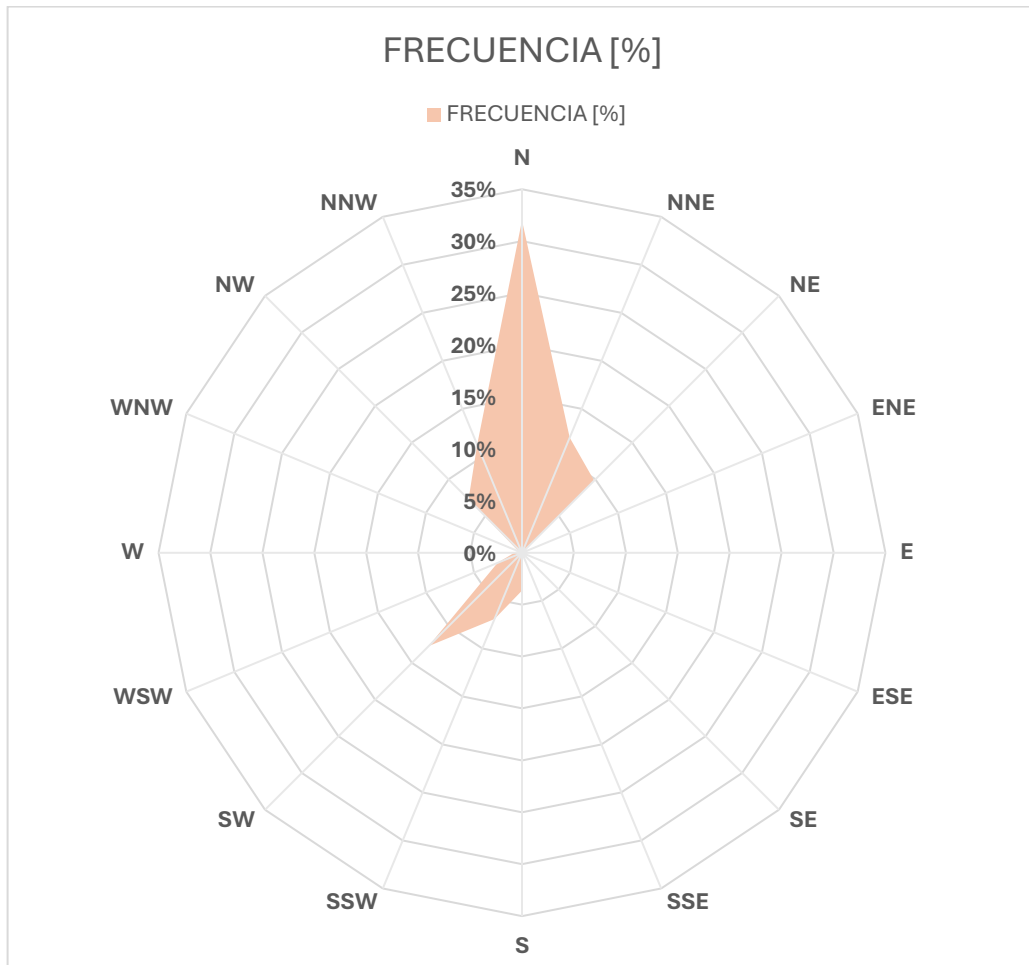


Figura 4.10 – Rosa de vientos, frecuencia de dirección

4.6. Resumen

Tabla 4.5 – Síntesis Capítulo 5

Registro de Datos	Variables Registradas	<ul style="list-style-type: none"> – Velocidad promedio del viento – Dirección promedio del viento – Temperatura ambiente – Altura de medición – Hora de registro
	Instrumento Principal de Medición	Medidor Digital de Velocidad de Aire de la marca Steren
	Ciclos de medición	Velocidad promedio: se obtiene tomando el valor promedio de 5 minutos proporcionado por la función AVG del anemómetro, y se extrapola a los 10 minutos del ciclo de medición.
Análisis de Datos	Método de Análisis	Modelo Logarítmico del Perfil de Viento propuesto por Monin-Obukhov
	Rugosidad de Suelo	<ul style="list-style-type: none"> – $Z_0 = 0.5$ para vientos con dirección al norte. – $Z_0 = 1.0$ para vientos con dirección al sur.
	Evento Extraordinario	Durante abril y principios de mayo condiciones asociadas a una alta presión en el Sureste de Estados Unidos causó ráfagas de viento ingresando sobre Centroamérica.
	Dirección predominante de vientos	Hacia el norte. 32% de los vientos

Capítulo 5: Evaluación y Caracterización del Potencial Eólico

Tras el análisis de los datos recolectados, se procederá a la caracterización del clima de la región, con el objetivo de determinar un valor representativo para la densidad del aire. Este valor será utilizado posteriormente para calcular la densidad de potencia y la densidad de energía del viento en distintas direcciones,

5.1. Caracterización Climática y Densidad del aire.

En la finca Marina Cumbre, el clima durante las mediciones fue predominantemente soleado y despejado. Sin embargo, en mayo, durante dos visitas consecutivas, se encontraron condiciones de neblina, y se observó que las velocidades del viento eran significativamente más bajas en estos días.

La neblina contribuye a la reducción de la velocidad del viento debido a la alta humedad y la estabilidad atmosférica que crea una capa de aire más densa y menos móvil cerca del suelo. Esto limita la mezcla vertical del aire y aumenta la fricción, lo que resulta en velocidades de viento más bajas. Los registros de velocidades del viento y temperaturas ambiente permitirán considerar adecuadamente este factor en el análisis.

A partir de los valores de temperatura registrados y una presión atmosférica de 866.72 mbar, correspondiente a una altitud de 1300 msnm, se calculó la densidad del aire para todos los registros aplicando la fórmula estándar ajustada por estas variables:

$$\rho = 1.225 \frac{288.15}{T} \frac{B}{1013.3}$$

Donde,

B: presión barométrica [mbar]

T: temperatura del aire [K]

Luego de calcular la densidad del aire para cada registro, se obtuvo un valor promedio de densidad de aire de:

$$\rho_{aire} = 0.996 \text{ kg/m}^3$$

5.2. Distribución de Viento

Antes de determinar la distribución de la densidad de potencia y energía, se analizó la velocidad media del viento en cada dirección mediante las rosas de viento, mediante los análisis antes mencionados: un valor constante de rugosidad (Z_0) y un valor menor para los vientos del sur al norte.

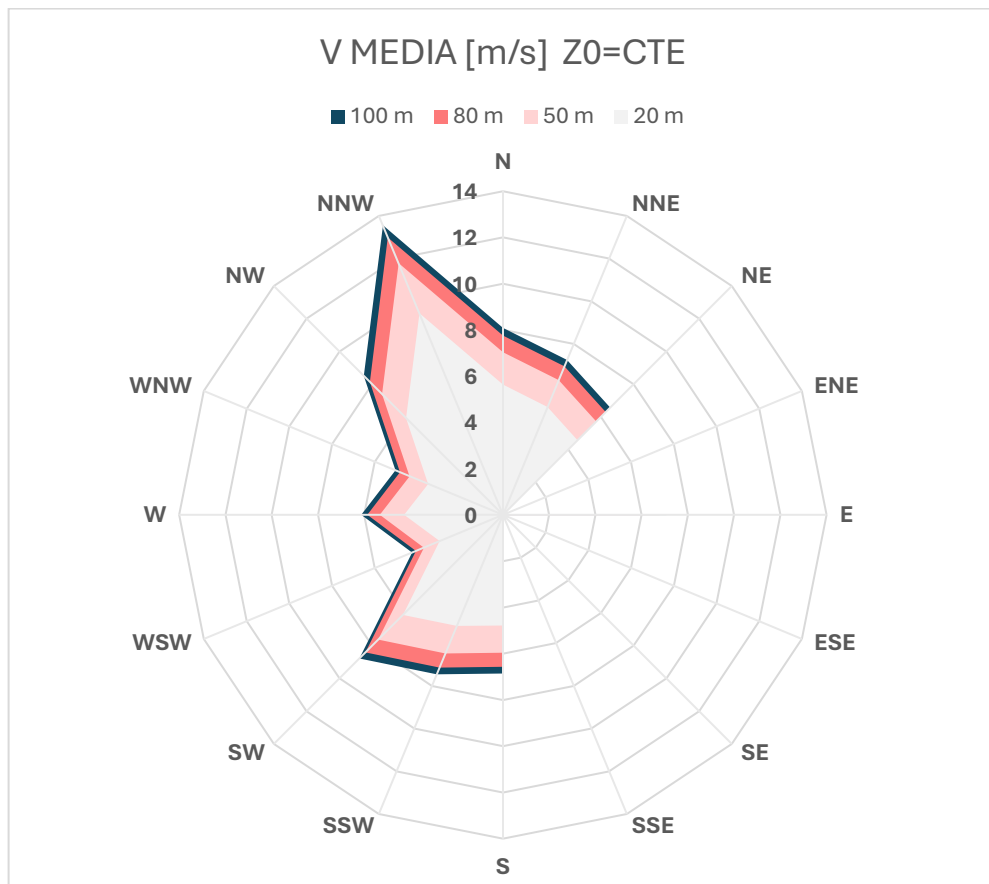


Figura 5.1 – Rosa de vientos, velocidad media considerando rugosidad constante $Z_0=0.5$.

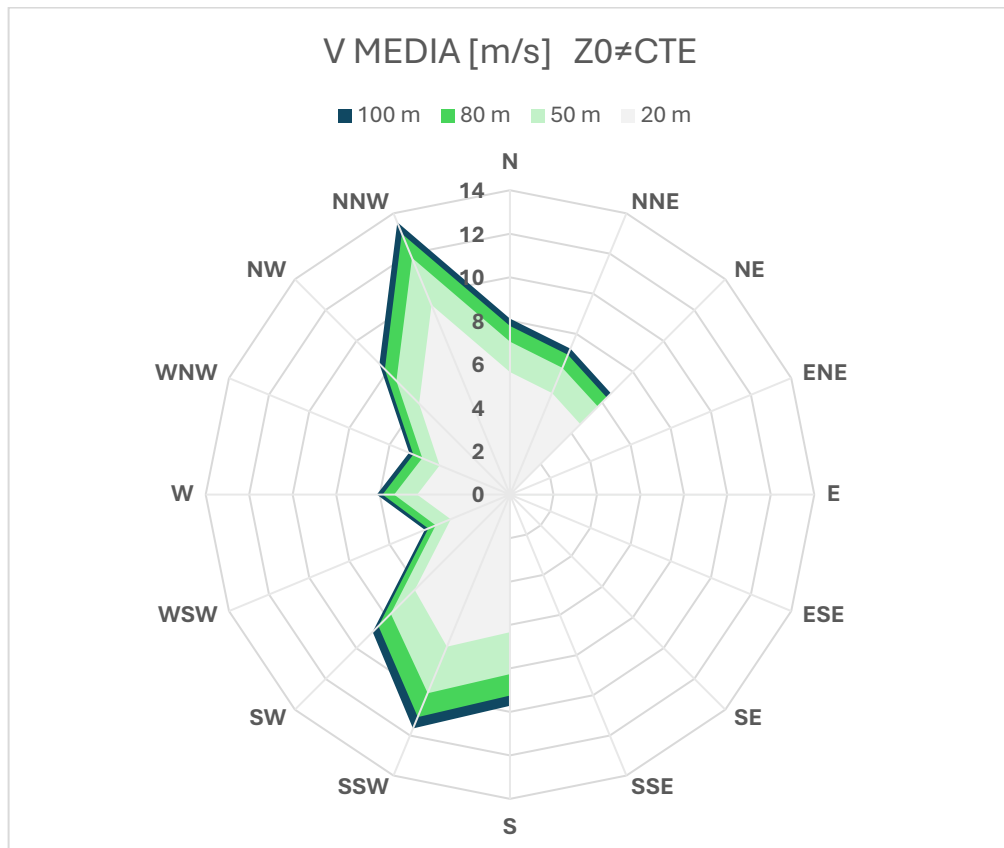


Figura 5.2 – Rosa de vientos, velocidad media variando rugosidad a $Z_0= 1.0$ para vientos hacia el sur

5.3. Densidad de Potencia y Energía

La densidad potencia que puede ser generada y aprovechada por el viento se calcula utilizando las velocidades medias registradas para cada dirección. Este cálculo se realiza aplicando la fórmula de potencia útil, cuya expresión es:

$$p_{util} = \frac{1}{2} C_p \rho v^3 \quad [W/m^2]$$

Donde,

ρ : densidad del aire [kg/m^3]

v : velocidad del viento incidente [m/s]

C_p : coeficiente de potencia

El coeficiente de potencia refleja el rendimiento total del aerogenerador, considerando tanto las pérdidas mecánicas y físicas como el límite de Betz, que indica que ningún aerogenerador puede convertir más del 59.3% de la energía cinética del viento en energía útil. Este coeficiente se descompone en:

- Rendimiento límite de Betz: 59.3%
- Rendimiento de la hélice: 85.0%
- Rendimiento del multiplicador: 98.0%
- Rendimiento del alternador: 95.0%
- Rendimiento del transformador: 98.0%

$$\eta_{aerog} = 0.85(0.98)(0.95)(0.98) = 0.7755$$

$$C_{p,betz} = 0.593$$

$$C_p = 0.4599$$

Con estos rendimientos, se calculó la densidad de potencia para cada dirección, representada en las siguientes rosas de viento. En cada rosa, se clasifica la densidad de potencia en tres categorías:

1. Total de entrada: La potencia total que trae el viento con su velocidad.
2. Aprovechable: La potencia total cuando se aplica el coeficiente del límite de Betz.
3. Producible: La potencia final tras aplicar el resto de los rendimientos del aerogenerador.

Se realizaron y calcularon las rosas de viento correspondientes a las alturas de 20, 50, 80 y 100 metros sobre el nivel del suelo. A continuación, se presentan las gráficas correspondientes a los 100 metros de altura para ambos análisis.

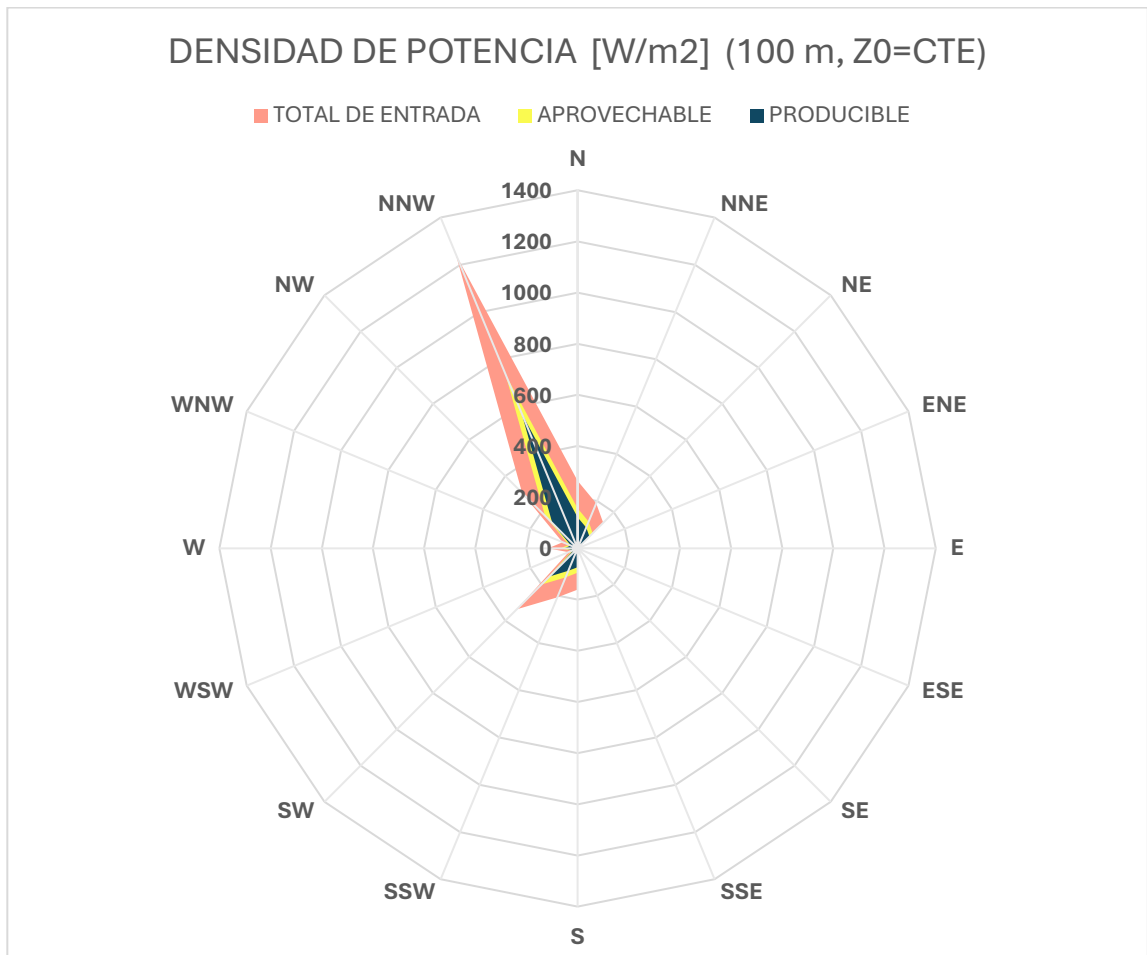


Figura 5.3 – Rosa de vientos, densidad de potencia considerando rugosidad constante de $Z_0=0.5$

Todas las rosas de viento para las diferentes alturas presentan exactamente la misma forma. En la gráfica, se observa que la dirección con mayor densidad de potencia es hacia el NNW. Considerando una rugosidad de suelo constante para todas las direcciones, resulta:

- Densidad de potencia producible en NNW a 20m: 734.91 W/m^2
- Densidad de potencia producible en NNW a 100m: $2\,669.69 \text{ W/m}^2$

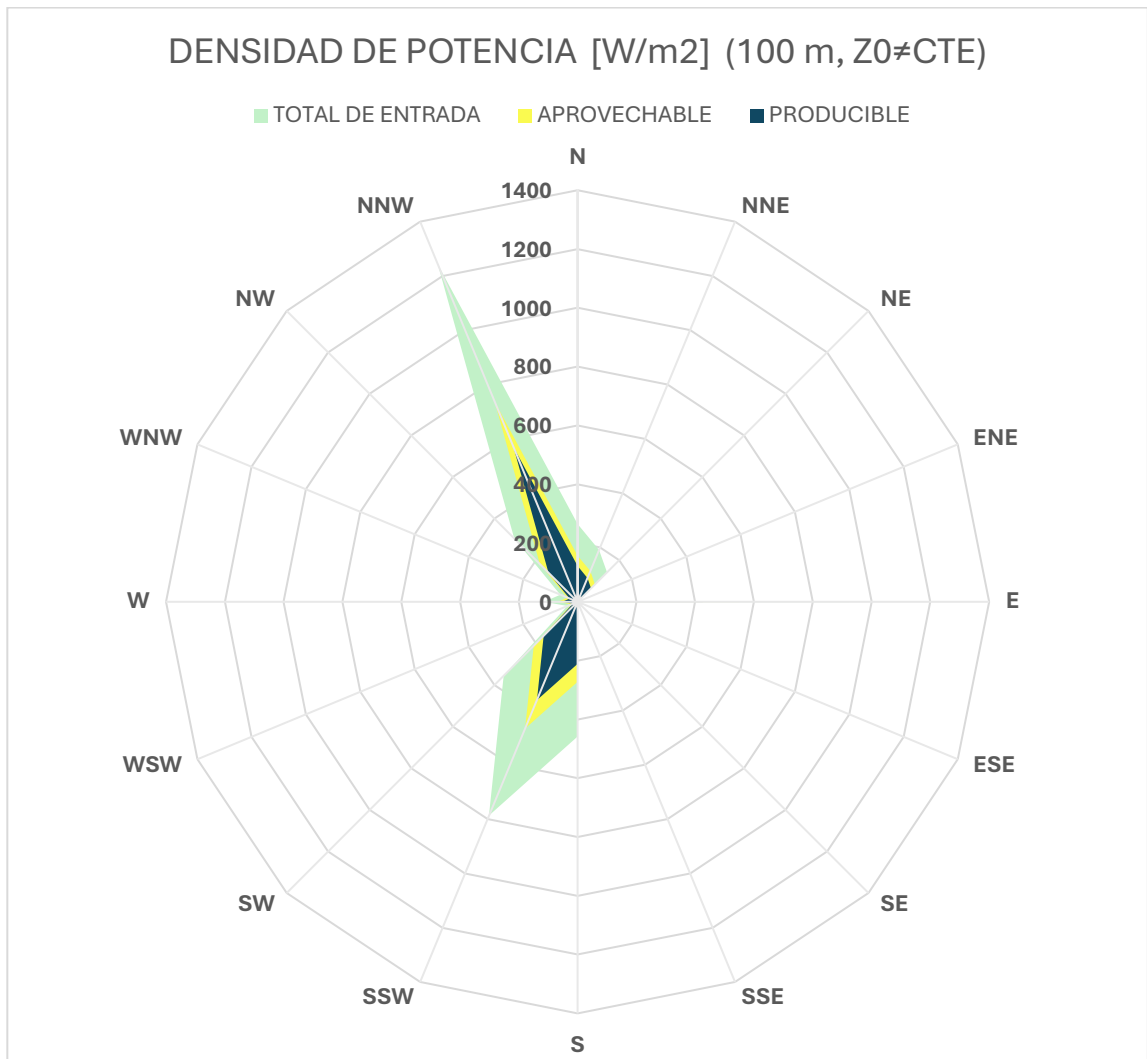


Figura 5.4 – Rosa de vientos, densidad de potencia variando rugosidad a $Z_0=1.0$ para vientos hacia el sur

Si se considera una rugosidad de suelo mayor para los vientos con dirección hacia el sur, vemos que el potencial en esa dirección crece, sin embargo sigue predominando el potencial en dirección al norte.

5.3.1 Densidad de Energía

A diferencia de la densidad de potencia, que solo refleja la energía generada por la velocidad media en una dirección, la densidad de energía muestra cuál dirección es más efectiva al tomar en cuenta la cantidad de registros de viento en esa dirección.

Por lo tanto, la densidad de energía ofrece una estimación más precisa del recurso eólico, ya que considera la frecuencia con la que el viento sopla en cada dirección. Por esta razón, la rosa de vientos de densidad de energía permitirá identificar de forma más adecuada las direcciones óptimas para captar el viento.

$$e = p_{util} * \%frecuencia * horas [Wh/m^2]$$

Donde,

%frecuencia: porcentaje de frecuencia del viento en una direccion

horas: numero de horas de soplo

El total de horas dedicadas a la toma de datos del viento en las visitas al sitio asciende a 44.33 horas, abarcando el período de abril a agosto. Dado que el objetivo es obtener una visión general del potencial eólico en la finca Marina Cumbre, se procederá a extrapolar los datos recopilados al período de cinco meses, lo que equivale a 3672 horas.

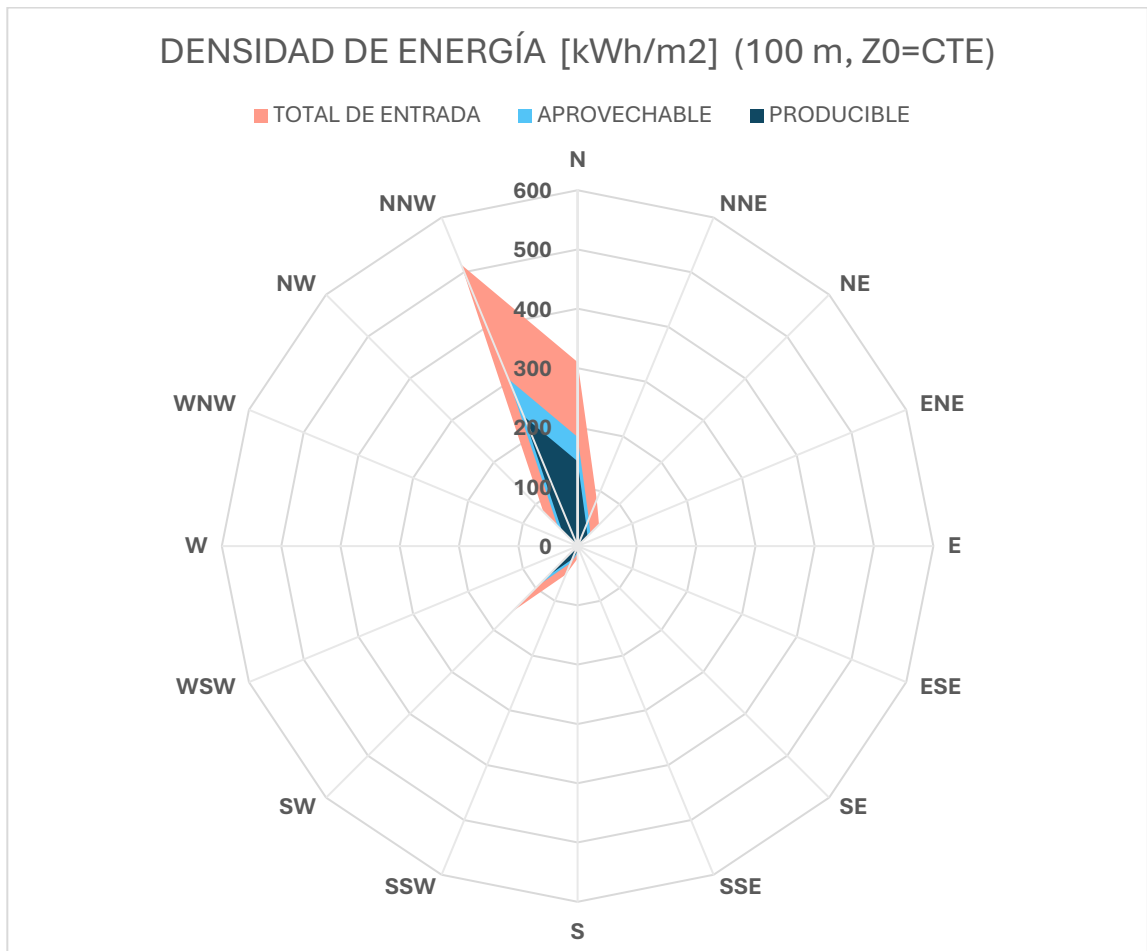


Figura 5.5 – Rosa de vientos, densidad de energía, estimada desde abril a agosto, considerando rugosidad constante de $Z_0=0.5$

Se evidencia que, a pesar de que la frecuencia del viento es mayor hacia el norte, se genera más energía en la dirección NNW (noroeste-nornoroeste) debido a las mayores velocidades registradas en esa dirección.

Considerando una rugosidad de suelo constante para todas las direcciones, resulta:

- Densidad de energía producible en NNW a 20m: 304.20 kWh/m^2
- Densidad de energía producible en NNW a 100m: $1\ 105.07 \text{ kWh/m}^2$

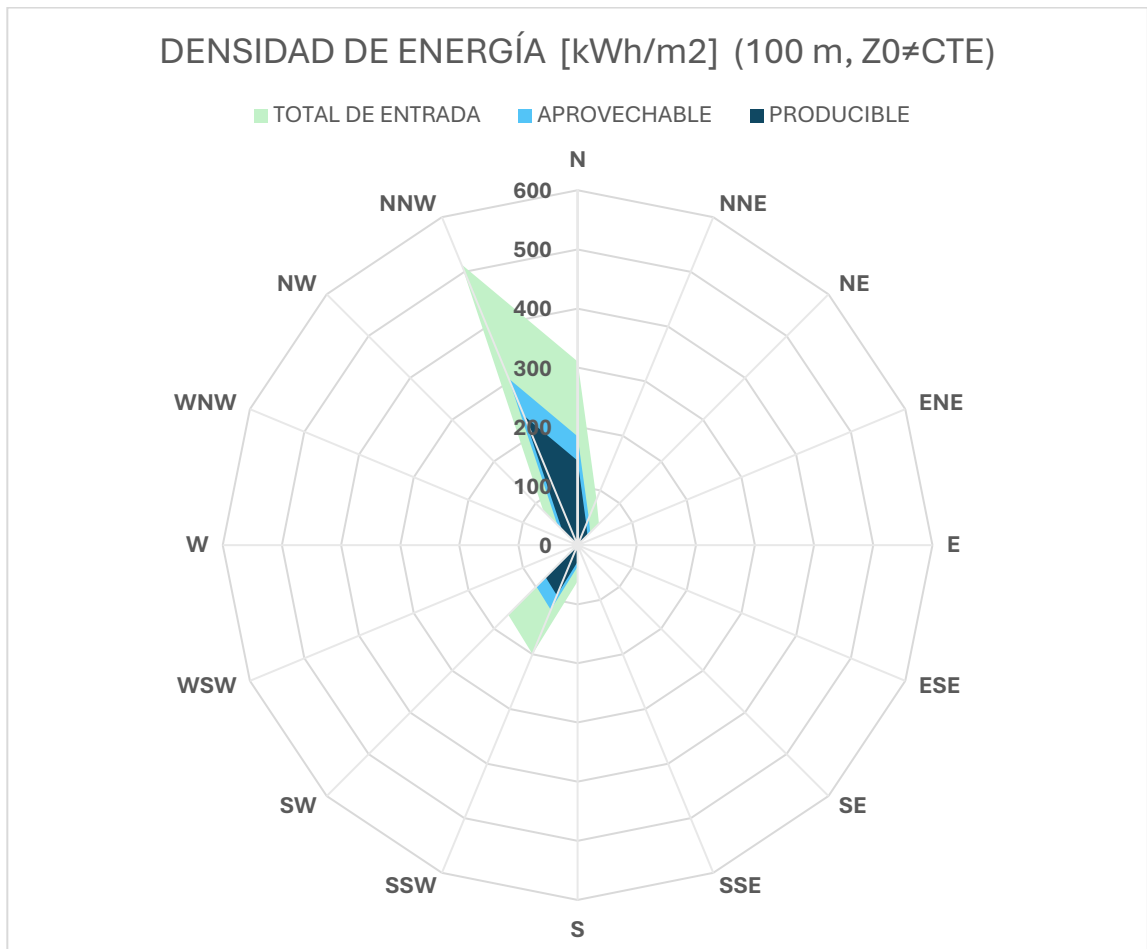


Figura 5.6 – Rosa de vientos, densidad de energía, estimada desde abril a agosto, variando rugosidad a $Z_0=1.0$ para vientos hacia el sur

De manera similar, la energía generada por los vientos hacia el sur no resulta competitiva en este tipo de análisis frente a la de los vientos predominantes hacia el norte

5.4. Curva de Aprovechamiento Continuo

La curva de aprovechamiento continuo muestra la distribución acumulada de horas en función de la densidad de potencia del viento. El eje vertical representa la densidad de potencia en kW/m^2 , mientras que el eje horizontal indica el número de horas en las que se alcanzó un determinado valor de densidad de potencia. Esta curva se construye organizando los valores de densidad de potencia en orden descendente y acumulando las horas correspondientes para cada intervalo.

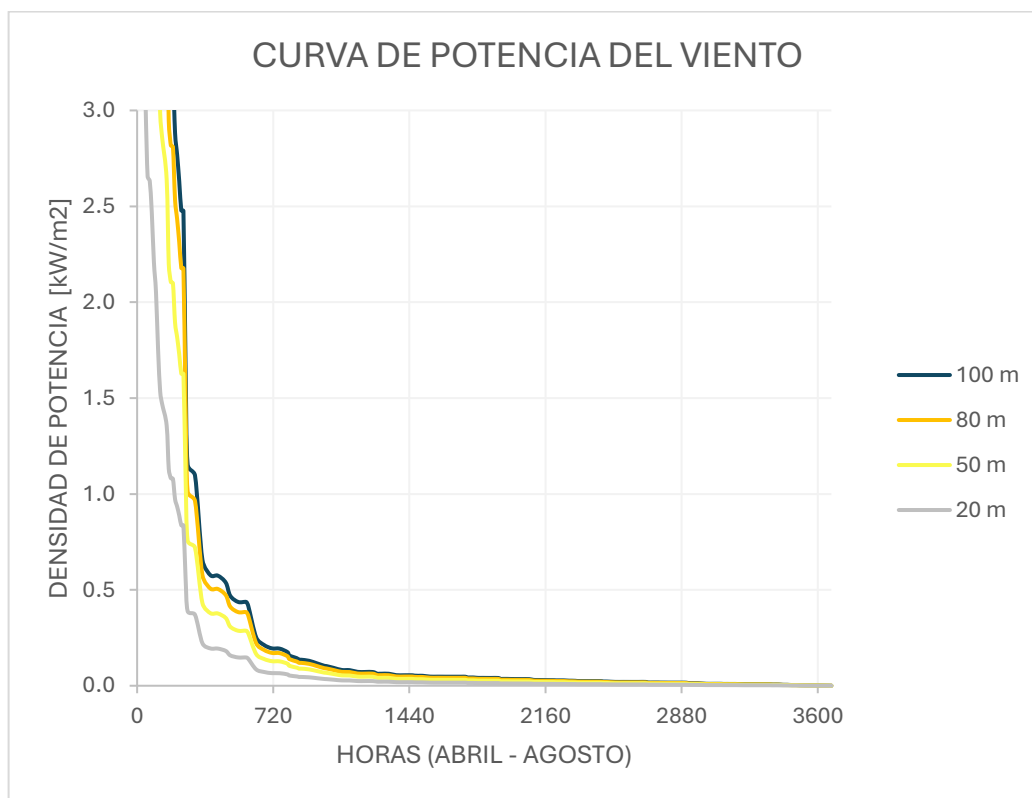


Figura 5.7 – Curva de potencia del viento para diferentes alturas, estimada desde abril a agosto.

Los comportamientos de las curvas resultantes implican que, aunque hubo momentos con buena densidad de potencia, la cantidad de horas en las que se

podría aprovechar esa energía es limitada. En consecuencia, el área bajo la curva es pequeña, lo que refleja un recurso eólico escaso en términos de horas aprovechables para generación continua de energía

5.5. Evaluación del Potencial del Viento con un Aerogenerador

Para obtener un panorama más aterrizado del potencial que presenta el viento según las mediciones realizadas, se determinara cuanta energía produciría un aerogenerador si fuera instalado en el sitio de estudio.

Para este análisis, se ha seleccionado el aerogenerador V136-3.45, el cual es utilizado en el parque eólico Ventus ubicado en Metapán, el cual presenta las siguientes especificaciones técnicas:



Figura 5.8 – Curva de potencia VESTAS V136-3.45. (19)

- Potencia nominal: 3.5 kW
- Velocidad Cut-in: 3 m/s
- Velocidad Cut-out: 22.5 m/s
- Diámetro de rotor: 136 m
- Área de barrido: 14 527 m²
- Altura al centro: 105 m (IEC IIIA)

5.4.1 Densidad de energía en el periodo de estudio

Habiendo seleccionado el aerogenerador de referencia, el siguiente paso es determinar el área bajo la curva de la potencia del viento. Esto se realiza estableciendo los límites dentro de dicha curva que corresponden a las velocidades cut-in y cut-out del aerogenerador.

Según el análisis previo realizado, las velocidades de corte, a una altura de 100 metros, corresponden a los valores:

- CUT-IN: 3 m/s → 3392 horas
- CUT-OUT: 22.5 m/s → 2.623 kW/m²



Figura 5.9 – Área bajo la curva de potencia del viento para 100 metros de altura, estimada desde abril a agosto.

El área bajo la curva de tendencia representativa a los resultados de densidad de potencia a 100 metros de altura representaría la densidad de energía disponible para el aerogenerador, la cual resulta de la integración de la potencia del viento en el rango de velocidades entre el cut-in y el cut-out:

$$DE = 906.276 [kWh/m^2]$$

5.4.2 Factor de Capacidad

Para estimar la energía producida durante el periodo de estudio, se deben considerar las horas pico. Estas horas se definen como el tiempo en que la velocidad del viento permite que el aerogenerador opere a su potencia nominal. Según la figura 5.8, el aerogenerador alcanza su potencia nominal a partir de 10.5 m/s.

En el total de 3,672 horas de estudio, se registraron vientos iguales o superiores a 10.5 m/s durante 365.52 horas. Por lo tanto, el factor de capacidad resulta:

$$C_f = \frac{365.52}{3672} = 0.099$$

5.4.3 Historial Meteorológico

Para verificar la coherencia de los datos recolectados por el equipo con la realidad, se utilizarán datos meteorológicos históricos de La Libertad obtenidos de la base de datos meteorológica y climática de la página Meteostat.

Se tomaron los registros de promedios diarios de velocidades de viento desde 2020 hasta 2023. Todos esos datos se agruparon y se promediaron por mes para simplificar el análisis. Estos promedios mensuales se compararán con los datos tomados por el equipo en 2024, que representarán las mediciones actuales del periodo en estudio.

Tabla 5.1 – Velocidades de viento promedio registrados en Jayaque contra registros de Meteostat. (20)

		Velocidades de viento [m/s]				
		Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto
Datos del Equipo		7.27	2.83	3.99	3.95	3.61
Meteostat	2024	5.653	5.355	4.883	4.977	4.832
	2023	3.68	3.4	3.06	4.16	3.72
	2022	3.739	3.67	3.487	3.99	3.587
	2021	4.015	3.656	2.998	4.203	3.318
	2020	3.527	3.193	3.79	3.837	3.624

En los meses de junio, julio y agosto, los datos registrados por el equipo muestran consistencia con los valores históricos reportados por Meteostat en años anteriores. Sin embargo, en abril y mayo se observan discrepancias, particularmente en abril, donde incluso los datos de Meteostat reflejan un mayor promedio de velocidad del viento en 2024, atribuido a los eventos climatológicos previamente mencionados.

Se calculará un factor de corrección usando los datos del mes de abril de los últimos 4 años y el actual, para obtener una estimación más precisa de la generación de energía. Este factor ajustará las velocidades registradas en el estudio actual, alineándolas con las condiciones de viento históricas en abril.

Tabla 5.2 – Factor de corrección promedio para mes de abril

	Equipo	2024	2023	2022	2021	2020	PROMEDIO
Valor	7.27	5.653	3.68	3.739	4.015	3.527	4.4462
Fracción	1	0.777	0.50619	0.514305	0.55227	0.485144	0.639

El valor de 0.639 es representativo únicamente para el mes de abril, uno de los cinco meses del estudio. Asignando un peso de 0.2 a cada mes, se obtiene

un factor que corrige de manera aproximada las velocidades a lo largo de todo el periodo de estudio.

$$K' = 0.8 + 0.2(0.61158) = 0.922$$

Este factor de corrección estimado se aplica a las velocidades del viento. Si se desea utilizar para la generación de energía, debe elevarse al cubo, ya que en la fórmula de potencia la velocidad está elevada al cubo.

$$K = 0.922^3 = 0.785$$

5.4.4 Producción de Energía

Se estimará la generación de energía que produciría un aerogenerador V136-3.54 en los meses de abril a agosto, utilizando las variables definidas en esta sección.

$$E = DE * A * C_f * K$$

$$E = 906.276 * 14\ 527 * 0.099 * 0.785$$

$$E = 1\ 023.15\ MWh$$

Sin embargo, es relevante incluir en el análisis las eficiencias de distintos tipos de turbina. Esto es importante porque las velocidades de viento en el área no son frecuentes ni lo suficientemente altas para alcanzar las horas de pico deseables. Por ello, conviene considerar turbinas que operen a menores velocidades y en múltiples direcciones, como las de eje vertical.

Además, el área presenta riesgos de impacto en el suelo y posibles afectaciones a la fauna aérea, identificados en los capítulos siguientes. Las turbinas de eje vertical ofrecen ventajas específicas que podrían contribuir a mitigar estos riesgos.

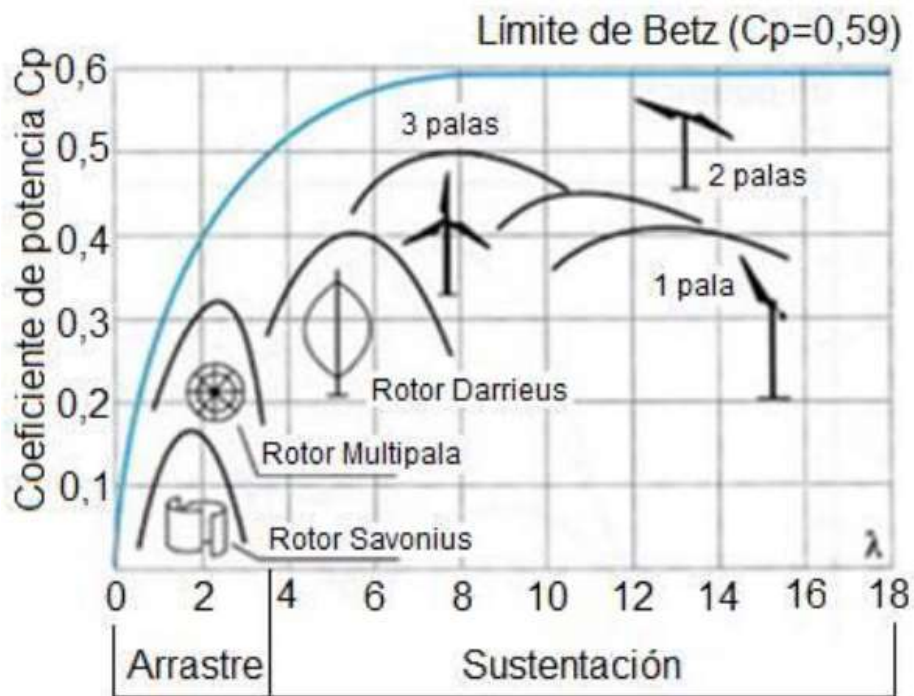


Figura 5.10 – Coeficiente de potencia para diferentes tipos de generadores eólicos (Fariñas, 2012)

5.6. Resumen

Tabla 5.3 – Síntesis Capítulo 6

Velocidades promedio de vientos hacia el norte	<ul style="list-style-type: none"> – NW: 8.50 m/s – NNW: 13.56 m/s – N: 8.09 m/s – NNE: 7.26 m/s – NE: 6.57 m/s
--	--

Tabla 5.3 – Síntesis Capítulo 6

<p>Densidad de Potencia a generar con viento promedio en dirección NNW a 100m</p>	$571.11 \left[\frac{W}{m^2} \right]$
<p>Densidad de Energía a generar con viento promedio en dirección NNW a 100m</p>	$236.4 \left[\frac{kWh}{m^2} \right]$
<p>Energía producible evaluando con Aerogenerador VESTAS V136 – 3.45</p>	<p><i>Densidad de Energia = 906.27 $\left[\frac{kWh}{m^2} \right]$</i></p> <p><i>Factor de Capacidad = 0.099</i></p> <p><i>Factor de Historial Meteorologico = 0.785</i></p> <p><i>Area de barrido = 14 527 m²</i></p> <p><i>Energia producible en periodo de estudio = 1023.15 MWh</i></p>

Capítulo 6: Riesgos, Viabilidad Social y Aspectos Regulatorios

6.1. Caracterización de la zona

La finca Marina Cumbre, será evaluada considerando el uso actual del suelo, zonas de vida, áreas protegidas, áreas de conservación, clases de suelo y rangos de pendientes. El análisis se basará en datos del Visualizador de Información Geográfica de Evaluación Ambiental del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), proporcionando un panorama general del área de estudio.

- a. Usos de Suelo: Plantación de café.
- b. Zonas de Vida: Bosque muy húmedo subtropical.
- c. Áreas Protegida: No se encuentra en área protegida declarada o en proceso de declaración.
- d. Áreas de Conservación: Dentro del área de conservación El Playón.
- e. Rangos de pendientes: Entre 15° y 30°, y mayor a 30°. En su mayoría área superan los 30 grados.
- f. Clases de Suelo: principalmente en suelo de clase VII, con algunas áreas menores clasificadas como clase IV, VI y VIII.
 - i. Clase IV: Tierras de estas clases tienen severas limitaciones que restringen la elección de plantas. Requieren cuidadosas prácticas y obras de manejo y conservación costosas de aplicar y mantener.
 - ii. Clase VI: Las Tierras de esta clase tienen limitaciones muy severas que hacen inadecuado su uso para cultivos intensivos y lo limitan para cultivos permanentes como frutales, bosques y praderas. Se requieren usar cuidadosas medidas de conservación y manejo.
 - iii. Clase VII: Tierras con limitaciones muy severas que los hacen inadecuados para cultivos. Restringen su uso para la vegetación

permanentes como bosques y praderas los cuales requieren un manejo muy cuidadoso. Estas tierras tienen limitaciones permanentes que en general son pendientes muy abruptas y suelos muy superficiales.

- iv. Clase VIII: Las tierras de esta clase están restringidas para el uso agrícola. Aptas únicamente para vegetación permanente de protección de vida silvestre o recreación.

6.2. Riesgos de Impacto sobre el Suelo

La finca se ubica en un área de conservación, lo que complica la realización de un proyecto debido a las regulaciones adicionales y la necesidad de múltiples permisos. También se requerirán evaluaciones complementarias para cumplir con las normativas vigentes.

El área de conservación El Playón abarca un territorio más extenso que el municipio de Jayaque, incluyendo 36 municipios, desde Sonsonate hasta el lago de Ilopango. Es fundamental considerar esta extensión al analizar nuestro punto de interés. A continuación, se presenta una tabla con las principales amenazas naturales identificadas en el área, que permitirá evaluar su impacto en nuestro sitio específico.

Tabla 6.1 – Amenazas del Área de Conservación El Playón. (SNET 2011)(23)

Amenazas Naturales Principales	
Deslizamientos	Son ocurrentes en los municipios ubicados en la Cordillera del Bálsamo en el Departamento de La Libertad. No se reportan para los municipios de AC ubicados en el Departamento de San Salvador.
Inundaciones	Los municipios con más altas amenazas de inundaciones incluyen San Juan Opico, Chiltiupán, Teotepeque y Tamanique de La Libertad y Apopa, San Salvador y la zona sur del departamento de San Salvador. Hay amenazas puntuales de inundaciones de alta y moderada peligrosidad en los otros departamentos compartiendo esta área de conservación.

Tabla 6.1 – Amenazas del Área de Conservación El Playón. (SNET 2011)(23)

Actividad Sísmica	La mayoría del área de conservación es amenazada por actividad sísmica de moderada a alta peligrosidad. La zona más activa sísmica del país es el departamento de San Salvador. Los otros departamentos del área de conservación presentan amenazas de alta a moderada peligrosidad en los municipios de Nueva San Salvador, Colon y Quezaltepeque de La Libertad.
Erupciones Volcánicas	El Volcán de San Salvador presenta alta peligrosidad para los municipios de San Salvador, Apopa, Nejapa y Mejicanos en el departamento de San Salvador; Nueva San Salvador Colón, Quezaltepeque, San Juan Opico y municipios en la Cordillera del Bálsamo en el departamento de La Libertad

6.2.1 Pendientes

La afectación del suelo por instalaciones eólicas es limitada, concentrándose en las plataformas de los aerogeneradores y los caminos de acceso. Debido a su reducido tamaño, los impactos se consideran directos, negativos y de extensión limitada, y pueden mitigarse mediante medidas de restauración adecuadas.

Sin embargo, la pendiente del terreno es un factor determinante, ya que la finca se sitúa en una cordillera, predominan las montañas con caminos de pendientes irregulares y escasas planicies .

Las zonas con alto riesgo de erosión del suelo se localizan en tramos con pendientes superiores al 40%. Las pendientes entre 21% y 40% también presentan un riesgo potencial, especialmente para la construcción de accesos y nivelación del terreno.

Tabla 6.2 – Capacidad de Acogida en Función de la Pendiente. (23)

Capacidad de Acogida	Pendiente (%)
Baja	> 40
Moderada	21 – 40
Baja	< 20

Tabla 6.3 – Técnicas de Mitigación de Deslizamientos

Metodología	Descripción
Cambio de pendiente con talud	Modificación de la inclinación del terreno para reducir la pendiente y mejorar la estabilidad del suelo.
Escalonamientos de talud	Creación de terrazas o escalones en la pendiente para reducir la velocidad del escurrimiento superficial y distribuir el peso.
Sistemas de drenaje superficial	Construcción de canales, zanjas o tuberías en las superficies para desviar el agua de lluvia, evitando la acumulación excesiva que podría desestabilizar el terreno
Sistemas de drenaje subterráneo	Implementación de túneles o pozos profundos de subdrenaje para evacuar el agua subterránea, reduciendo la presión de poros y mejorando la estabilidad del terreno.
Protección de superficie	Uso de coberturas como geomallas, mantos vegetales o materiales impermeables para proteger el terreno de la erosión causada por el agua y el viento.
Muros de retención	Construcción de estructuras de contención para soportar el terreno y evitar colapsos o deslizamientos en áreas de pendientes muy altas

En el área de estudio, la mayoría del terreno tiene pendientes mayores al 30%, lo que representa un riesgo considerable en caso de emprender un proyecto. Asimismo, se identifican deslizamientos y actividad sísmica como amenazas principales, lo que requiere una evaluación detallada del terreno. Sin embargo, existen formas de mitigar y prevenir estos riesgos si se decide avanzar con el proyecto.

6.3. Riesgos de Impacto en la Flora y Fauna, Impacto en el Paisaje, y Emisión de Ruidos

6.3.1 Flora y Fauna

El impacto ambiental de una instalación eólica depende en gran medida de su tamaño. No es lo mismo el impacto de aerogeneradores aislados que el de un parque eólico.

Como se mencionó anteriormente, la finca alberga principalmente plantaciones de café, situación que se extiende a toda el área circundante. Sin

embargo, se pueden identificar áreas específicas, como la zona alterada por los propietarios, donde se podrían ubicar las instalaciones sin afectar los cultivos de café. De esta manera, sería posible que un parque eólico, independientemente de su tamaño, coexistiera con las plantaciones de café.

En cuanto a la fauna, en el informe de áreas de conservación de El Salvador se detallan las especies de preocupación especial para el área de conservación El Playón, donde se identifican 61 especies:

- 2 anfibios (amenazadas)
- 49 aves (23 en peligro y 26 amenazadas)
- 7 reptiles (amenazadas)
- 3 mamíferos (1 en peligro y 2 amenazadas)

La mayoría de las especies identificadas son aves, que son particularmente relevantes al evaluar el impacto de las instalaciones eólicas. Sin embargo, se debe tener en cuenta que la extensión del área de conservación El Playón supera el departamento de Jayaque.

Durante las visitas no se observaron grandes grupos de aves migratorias, posiblemente debido al movimiento humano y vial en la zona. De igual manera, se reconoce el riesgo de que las aves que si habitan la zona modifiquen sus patrones debido a los efectos visuales y acústicos de los aerogeneradores.

6.3.2 Impacto en el Paisaje

El impacto visual de las instalaciones eólicas presenta un carácter subjetivo, ya que varía según la percepción de cada individuo. Para algunos, la presencia de aerogeneradores puede resultar atractiva, mientras que para otros puede ser considerada una molestia desde el punto de vista estético.

No obstante, centrarse únicamente en la adaptación de las turbinas eólicas al paisaje puede resultar contraproducente. Si las turbinas se integran demasiado

con el entorno, las aves pueden tener dificultades para distinguirlas del resto del paisaje, lo que aumenta el riesgo de accidentes.

6.3.3 Emisión de Ruidos

El ruido generado durante la operación de un parque eólico proviene principalmente de las turbinas y sus componentes, como el multiplicador, generador, ventilación, transformadores y aspas. Sin embargo, según la tabla 6.4, este nivel de ruido no representa un impacto ambiental significativo.

Tabla 6.4 – Niveles de ruido típicos comparados. (27)

Fuentes de Ruido	Nivel de Ruido dB
Ruido nocturno en el campo	20 – 40
Dormitorio silencioso	35
Parque eólico, a 350m de distancia	35 - 45
Automóvil moviéndose a 65 km/h, a 100m de distancia	55
Oficina bulliciosa en plena actividad	60
Camión moviéndose a 50 km/h, a 7 metros de distancia	95
Perforadora neumática, a 7 metros de distancia	95
Avión, a 250 metros de distancia	105
Umbral del dolor, daños al oído	140

6.4. Viabilidad Social y Participación Comunitaria

La viabilidad social en todo proyecto asegura que este, más allá de ser técnicamente viable, sea aceptado por la comunidad y sea sostenible a largo plazo. Este análisis permite identificar y mitigar posibles conflictos sociales, garantizar que el proyecto mejore la calidad de vida de la población, fomentar la inclusión, y asegurar un reparto equitativo de los beneficios.

Antes de adentrarse en ello, se brinda un panorama general de la situación social en el municipio de Jayaque.

Tabla 6.5 – Estimación y Proyección de Población para Jayaque. (25)

Población	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Total	15,407	15,438	15,454	15,487	15,513	15,544	15,580
Masculina	6,933	6,936	6,937	6,948	6,955	6,958	6,968
Femenina	8,474	8,502	8,517	8,539	8,558	8,586	8,612

Tabla 6.6 – Indicadores de Desarrollo en el Municipio de Jayaque. (22)

Indicadores de Desarrollo	
IDH	0.685
Tasa de Pobreza	37.6 %
Tasa de Extrema Pobreza	13.4 %
Índice Educacional	0.695
Tasa de Matricula Combinada	49.2%
Tasa de Alfabetismo Adulto	79.7%
PIB per cápita	4,157.60
% de hogares sin título de propiedad	45%
% de hogares rurales que usan leña	51.3%
% casas rurales con acceso a agua domiciliar	56.1%
% casas con alumbrado	85.0%

Los indicadores sociales y económicos de Jayaque muestran retos significativos en pobreza, educación y acceso a servicios básicos, particularmente en áreas rurales. En 2013, estudiantes de arquitectura de la Universidad Dr. José Matías Delgado realizaron una investigación en el municipio enfocada en la revitalización del patrimonio cultural, cuyas observaciones sobre aspectos sociales y urbanos son relevantes para este análisis.

Tabla 6.7 – Diagnósticos de situación en Jayaque (2013). (28)

Diagnóstico	Pronóstico
La base económica proviene generalmente de dos fuentes principales: los trabajos agrícolas y el traslado de la población fuera de la ciudad; debido a las pocas oportunidades de empleo que se encuentran en el municipio	Es posible que los habitantes emigren de la ciudad de Jayaque en busca de empleos
El municipio de Jayaque carece de suficientes centros educativos que brinden educación media a sus habitantes	De mantenerse esta situación, se tendrá dentro de poco una gran demanda de estudiantes de primaria que no culminarían su educación media.
El servicio de agua potable no cubre las necesidades de los pobladores y esta carencia se intensifica durante la época de verano.	El problema será mayor en los años venideros debido al crecimiento poblacional y habitacional.
La ciudad no cuenta con mucho mobiliario urbano y de lo poco que existe una parte significativa se encuentra en malas condiciones.	El poco mobiliario urbano que existe seguirá deteriorándose y perdiéndose.
Aunque el municipio cuenta con recursos naturales que pueden aprovecharse para obtener ingresos económicos, estos se encuentran abandonados pues los pobladores no valoran la riqueza que aún tienen.	Los recursos agrícolas seguirán desaprovechándose

Además, identificaron las siguientes debilidades:

1. Pocos recursos económicos para invertir en la restauración de los bienes inmuebles y patrimonios culturales.
2. Bajo interés de invertir.
3. Los servicios públicos, servicios de consumo y de equipamiento social se encuentran disgregados de la función habitacional.
4. Disconformidad entre ciudadanos y alcaldía.
5. No existe un planeamiento estructurado de usos de suelo.

6.4.1 Aceptación Social

La aceptación social podría definirse de manera general como la falta de oposición al proyecto o actitudes positivas hacia éste. Se pueden identificar diferentes grados de aceptación de un proyecto energético local:

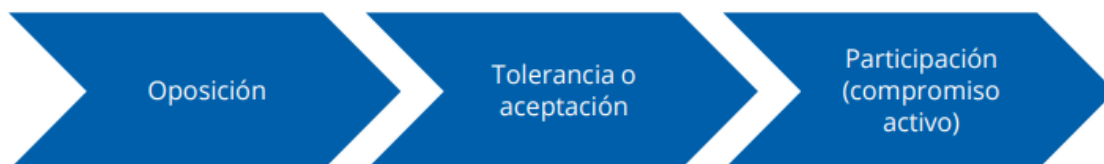


Figura 6.1 – Grados de aceptación social de un proyecto de energía renovable.

(29)

Los factores que afectan la aceptación social del proyecto pueden ser agrupados en:

Tabla 6.8 – Principales factores que afectan la aceptación de la ciudadanía de proyectos de energía en su localidad. (29)

Variable	Descripción
Edad	Las personas mayores tienden a estar menos dispuestas a aceptar el proyecto que los más jóvenes
Género	Las mujeres tienden a tener menores tasas de participación o inversión que los hombres.
Nivel de estudios	Las personas con mayores niveles educativos suelen estar más interesadas en el proyecto.
Hijos/as	Los hogares con hijos/as tienen una visión de largo plazo que los hace estar más interesados en los beneficios del proyecto.
Confianza	Las personas con mayores niveles de confianza interpersonal, hacia los políticos y decisores en los ámbitos nacional/regional/local y hacia las personas inversoras, tienden a estar más dispuestas a aceptar el proyecto.
Sentido de pertenencia o apego territorial	Las personas con mayor sentido de pertenencia o apego territorial pueden exhibir rechazo al desarrollo del proyecto en su localidad.

Tabla 6.8 – Principales factores que afectan la aceptación de la ciudadanía de proyectos de energía en su localidad. (29)

Percepción de la rentabilidad de la inversión	Las personas están más dispuestas a participar o invertir en los proyectos si perciben que las inversiones en proyectos verdes o fondos de capital sostenibles son más rentables que las inversiones en fondos o proyectos convencionales.
Percepción del nivel de riesgo de la inversión	Las personas que perciben un mayor riesgo en las inversiones en fondos de capital sostenibles que en los tradicionales tienen menor tendencia a invertir en el proyecto.
Experiencia en voluntariado	En algunos casos, las personas que tienen experiencia previa en ciertas actividades de voluntariado pueden tener mayor disposición a participar.
Expectativas sociales	Las expectativas del círculo social cercano de las personas influyen en su aceptación del proyecto.
Paciencia financiera	Las personas con una disposición a renunciar a algo que es beneficioso hoy a cambio de beneficiarse más en el futuro suelen aceptar y participar en el proyecto.
Características del proyecto	Las comunidades con mayores ingresos suelen aceptar las instalaciones eólicas con mayor facilidad que las de menores ingresos. El tamaño, la visibilidad y la proximidad de las turbinas eólicas suelen ser una barrera a la aceptación social de la tecnología.
Emisiones de gases de efecto invernadero	La contribución a la disminución en las emisiones de gases de efecto invernadero por parte del proyecto promueve la aceptación local.
Ingresos y utilidades personales y locales	El impacto del proyecto sobre el empleo, en la recaudación de impuestos locales y en el valor agregado de la localidad puede afectar positivamente la aceptación. Los efectos positivos sobre la economía personal también promueven la aceptación.
Distribución de los beneficios y costes	Tener una distribución justa de los beneficios y costes del proyecto promueve la aceptación y participación.
Salud y seguridad	Los impactos sobre la salud y el bienestar de las personas (como las frecuencias electromagnéticas, el efecto sombra intermitente, el ruido, los malos olores o la contaminación) afectan negativamente a la aceptación.

6.4.2 Barreras a la aceptación y Beneficios Comunitarios

Con base en la información local y el análisis de las variables que pueden afectar la aceptación social de un proyecto de energía eólica, se han identificado barreras para la aceptación social del proyecto eólico, como la falta de información, bajos niveles educativos, desconfianza hacia las instituciones y la percepción negativa debido a la desinformación. Se proponen estrategias para mitigar estos obstáculos.

Tabla 6.9 – Barreras a la aceptación y estrategias de mitigación. (29)

Barrera	Estrategia de mitigación
Falta de información sobre aspectos técnicos y sobre beneficios y costes económicos, medioambientales y sociales	<ul style="list-style-type: none"> • Informar a la comunidad desde etapas tempranas del proyecto, haciendo uso de estrategias de comunicación asertivas • Involucrar a la comunidad en la planificación.
Falta de educación técnica y financiera	<ul style="list-style-type: none"> • Informar a la comunidad sobre el funcionamiento del sector energético y la energía eólica, y los riesgos derivados. • Tener opciones de inversión ciudadana e informarlas con sus riesgos
Falta de confianza en la entidad desarrolladora, compañías eléctricas, o en instituciones publicas	<ul style="list-style-type: none"> • Informar adecuadamente a la comunidad mediante espacios donde todas las entidades involucradas puedan reunirse y discutir sobre los beneficios del proyecto para los habitantes.
Falta de una distribución adecuada de los beneficios y costes del proyecto o de una percepción adecuada del valor del proyecto	<ul style="list-style-type: none"> • Informar sobre la contribución del proyecto a la localidad y la forma de mitigar los costes o impactos negativos. • Ofrecer beneficios o mecanismos de compensación si resulta viable el proyecto.
Características de la infraestructura	<ul style="list-style-type: none"> • Seleccionar ubicación del proyecto en lugares adecuados y no instalarlo en lugares valorados por la comunidad.
Falta de participación en el proyecto de colectivos vulnerables	<ul style="list-style-type: none"> • Promover y apoyar la participación financiera de colectivos vulnerables con bajos niveles de renta disponible para realizar inversiones

La mayoría de las estrategias se enfocan en informar y educar a la comunidad acerca del impacto del proyecto, subrayando tanto los beneficios que aportará como las oportunidades de participación. A continuación, se presenta una tabla que resume los principales beneficios que un proyecto de esta naturaleza podría generar.

Tabla 6.10 – Beneficios comunitarios. (29)

Beneficio	Ejemplos
Beneficios monetarios o económicos	<ul style="list-style-type: none"> • Generación de empleo local por parte del proyecto • Activación del tejido industrial y económico local • Uso compartido del suelo para integrar la instalación con actividades económicas locales (agricultura). • Ingresos por alquiler de tierras • Contribución fiscal de los proyectos al presupuesto municipal y aplicación de esos fondos en proyectos comunitarios. • Ingresos por compra de bienes y servicios locales • Reducción del precio de las facturas de energía • Reducción de tasas o impuestos locales
Compensación mediante bienes o servicios para la comunidad	<ul style="list-style-type: none"> • Programas de educación • Programas de capacitación para personal • Programas de eficiencia energética • Programas de protección de la flora y fauna • Construcción de proyectos de energía locales • Programas de patrocinio e iniciativas con legado • Mejora del mobiliario urbano

6.5 Leyes Reglamentos y Normas

6.5.1 Leyes Reglamentos y Normas Medioambientales

Para desarrollar proyectos de energías renovables en El Salvador, es necesario considerar las leyes y reglamentos de protección ambiental. La Ley de Medio Ambiente establece el marco legal con políticas, procedimientos e instituciones que regulan esta área. A continuación, se presenta la normativa relacionada con la gestión ambiental.

Tabla 6.11 – Normativa y Legislación relacionada al Medio Ambiente. (13)

Legislación	Función
Constitución de la República de El Salvador	Regula todo lo relacionado al medio ambiente de manera general (Art. 36, 60, 65, 69, 101, 102, 113, 117)
Ley del Medio Ambiente	Los Art. 16-27 y 29 se refieren a todo lo relacionado con el Estudio de Impacto Ambiental, el Art. 62-65 sobre aprovechamiento de recursos naturales, el Art. 86 contempla todas aquellas acciones consideradas como infracciones ambientales, etc.
Reglamento General de la Ley del Medio Ambiente	Establece que el MARN es el responsable de elaborar los términos de referencias (TDR); de acuerdo a la envergadura de las actividades obras o proyectos, el titular deberá elaborar o no el estudio de impacto ambiental (EsIA). Art. 20. Arts. 12 y 32 sobre Consulta pública, Art. 22 Categorización ambiental Art. 19 proceso de evaluación ambiental, Art. 21 contenido del Formulario ambiental, Art. 23-28 Contenido del EsIA y sus componentes. Art. 34-39 permiso ambiental, fianza y auditorias.
Categorización de actividades, obras o proyectos conforme a la Ley del Medio Ambiente	Presenta los criterios para clasificar ambientalmente proyectos nuevos. Art. 21, 22, etc.
Ley de Riego y Avenamiento	Regula el uso de aguas, suelos, flora y fauna, recursos minerales y energéticos, saneamiento ambiental y recursos naturales.

Tabla 6.11 – Normativa y Legislación relacionada al Medio Ambiente. (13)

Código Municipal	Regula el ordenamiento territorial del municipio, cubriendo los bosques, aguas, suelos, flora y fauna, recursos minerales y energéticos y el saneamiento ambiental.
Código Penal	Establece las sanciones correspondientes por violar la legislación ambiental.

Tabla 6.12 – Normativa y Legislación relacionada al Desarrollo Urbano y Uso de la Tierra. (13)

Legislación	Función
Ley de Urbanismo y Construcción y su Reglamento	Regula y controla el desarrollo urbano, solicitando los permisos ambientales o el cumplimiento del trámite ambiental.
Ley de Expropiación y de Ocupación de Bienes por el Estado	Dispone la expropiación y ocupación de bienes a fin de utilidad pública.
Ley Especial de Protección al Patrimonio Cultural de El Salvador y su Reglamento	Establece la necesidad de conservación del patrimonio cultura salvadoreño, así como el procedimiento para la obtención de una licencia del proyecto, en caso de hallazgos arqueológicos en el área del proyecto. Este procedimiento se tiene que canalizar a través de la secretaria de Cultura.
Ley de Ordenamiento y Desarrollo territorial.	El Objeto es desarrollar los principios Constitucionales relacionados con el ordenamiento y desarrollo territorial; establecer las disposiciones que regirán los procesos de ordenamiento y desarrollo territorial; enumerar los principios rectores de la administración pública y municipal; organizar la institucionalidad que implementara la ley y sus funciones; regular los instrumentos de planificación, programación, evaluación y gestión territorial; así como, el régimen sancionatorio aplicable a la violación de sus disposiciones.
Ley de la Reforma Agraria	Describe la ley de reforma agraria como la transformación de la estructura agraria en el país, mediante la incorporación de la población rural al desarrollo económico, social y político de la nación y con la equitativa distribución de la tierra con el sistema de propiedad, tenencia y explotación que permita una adecuada organización para créditos y asistencia a los productores. La reforma agraria es de aplicación nacional y afecta todos los inmuebles por naturaleza, adherencia y destinación de uso agrícola, ganadero y forestal.

Tabla 6.13 – Normativa y Legislación relacionada a la Energía y Electricidad. (13)

Legislación	Función
Ley General de Electricidad. SIGET	La Ley General de Electricidad es la ley fundamental en materia de electricidad. La Ley norma las actividades de generación, transmisión, distribución y comercialización de energía eléctrica. Sus disposiciones son aplicables a todas las entidades que desarrollen las actividades mencionadas, sean estas de naturaleza pública o privada, independientemente de su grado de autonomía y régimen de constitución. Art. 13, para obtener las concesiones se requiere el estudio de impacto ambiental, previamente aprobado por las autoridades competentes en la materia. Art. 106. Las infracciones graves serán sancionadas por la SIGET con multa de hasta cincuenta mil colones y las muy graves con multa de hasta quinientos mil colones. Para la determinación de las sanciones, se tendrán en cuenta lo siguiente: a) El peligro resultante de la infracción para la vida y salud de las personas, la seguridad de las cosas y el medio ambiente.
Reglamento de Operación del Sistema de Transmisión y del Mercado Mayorista de Electricidad	Establece las normas y procedimientos que regulan la operación del sistema de transmisión y la administración del Mercado Mayorista de Energía Eléctrica en El Salvador. La Unidad de Transacciones (UT) es responsable de mantener la seguridad y calidad del sistema, y todos los operadores conectados a la red de transmisión deben cumplir sus instrucciones, excepto en casos de fuerza mayor o riesgo significativo.

Tabla 7.14 – Normativa y Legislación relacionada Salud y Saneamiento. (13)

Legislación	Función
Código de Salud	Regula lo relativo al saneamiento ambiental, rige lo referente a la disposición adecuada de excretas y aguas servidas, la eliminación de basuras y otros desechos, la eliminación y control de insectos vectores, roedores, y otros animales dañinos, así como la higiene de los alimentos, el saneamiento y buena calidad de las construcciones en general, la higiene y seguridad en el trabajo, la eliminación y control de contaminantes del agua de consumo, del suelo y del aire, y la eliminación y control de riesgos ambientales.

6.5.2 Procedimiento para el Estudio de Impacto Ambiental

Los artículos 19 al 23 de la Ley del Medio Ambiente establecen que para iniciar y operar actividades reguladas por esta ley, es necesario contar con un permiso ambiental. Los proyectos de energías renovables deben realizar un estudio de impacto ambiental (EIA) y obtener el permiso correspondiente del Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN). El MARN clasifica los proyectos según el artículo 22, y el artículo 23 indica que el titular es responsable de realizar el EIA.

Categorización del Proyecto

Este apartado se basa en el instrumento de Categorización de Actividades, Obras y Proyectos del MARN, con el objetivo de cumplir el artículo 22 de la Ley del Medio Ambiente, relacionado con los artículos 18, 19, 20, 21 y 24.



Figura 6.2 – Categorización de proyectos según el nivel con Potencial Impacto Ambiental (Fuente: Equipo de Estudio JICA con base al Reglamento General de la Ley del Medio Ambiente, documentos MARN). (13)

El artículo 22 establece que el MARN clasificará las actividades y proyectos según su envergadura y el impacto potencial. Esto permitirá determinar la documentación ambiental que el titular debe presentar, facilitando la evaluación de impacto ambiental. Este proceso permite al Estado analizar los impactos ambientales de un proyecto y asegurar el seguimiento de las medidas necesarias para prevenir, corregir o mitigar dichos impactos.

Permiso Ambiental

En El Salvador, el estudio de impacto ambiental (EIA) se lleva a cabo conforme a la Ley del Medio Ambiente y sus reglamentos. A continuación, se presentan los pasos necesarios para obtener el Permiso Ambiental, junto con los tiempos estimados requeridos para cada paso. Además, en las columnas de la derecha se incluyen los tiempos reales experimentados por La Geo y CEL.

Tabla 6.15 – Pasos y tiempo para obtener el Permiso Ambiental (Fuente: Equipo de Estudio JICA, la Geo, y CEL). (13)

	Pasos para Obtener Permiso Ambiental	Responsable	Tiempos Promedios Caso real LAGEO (días)	Tiempos Promedios Caso real CEL (días)
1	Presentación al MARN de formulario ambiental	Titular del proyecto	30	30
2	Tiempo de espera para la inspección en sitio	MARN	50	45
3	Emisión de términos de referencia para EIA	MARN	50	45
4	Elaboración de EIA	Titular del proyecto	60	60
5	Entrega del EIA al MARN	Titular del proyecto	2	2
6	Revisión del EIA y notificación de observaciones	MARN	55	50
7	Superación de observaciones y remisión al MARN de observaciones superadas	Titular del proyecto	60	45

Tabla 7.15 – Pasos y tiempo para obtener el Permiso Ambiental (Fuente: Equipo de Estudio JICA, la Geo, y CEL). (13)

8	Notificación de formato de publicación de consulta pública	MARN	15	15
9	Solicitud de publicación de formato de consulta pública	Titular del proyecto	10	10
10	Preparación y realización de la consulta pública	Titular del proyecto/MARN	12	12
11	Comentarios a los resultados de la consulta pública	MARN	51	51
12	Respuesta del Ministerio relacionado a observaciones de consulta pública y finalización del informe de EIA	Titular del proyecto	20	20
13	Notificación de fianza de cumplimiento ambiental	MARN	10	10
14	Proceso de licitación para compra de fianza de cumplimiento ambiental	Titular del proyecto	30	30
15	Presentación de fianza al MARN	Titular del proyecto	2	2
16	Emisión de permiso ambiental	MARN	14	15
Tiempo promedio del proceso			471	442

6.5.3 Manejo Ambiental en las Energías renovables

A continuación el manejo ambiental para la energía eólica, detallado en el *Plan Maestro para el Desarrollo de Energías Renovables*:

El seguimiento al componente ambiental en los proyectos de Eólica, Paneles Solares fotovoltaicos (para generación de energía eléctrica) y Solar Térmica, se realiza con base al Plan de Manejo Ambiental elaborado en la etapa de planificación y diseño, el especialista ambiental verifica la ejecución de las medidas contenidas en dicho plan, estas medidas son de cumplimiento obligatorio por parte del titular del proyecto, con el propósito de mantener el proyecto en armonía con las condiciones socio-ambientales. (CNR & JICA, 2012, p. 3-14)

6.6 Resumen

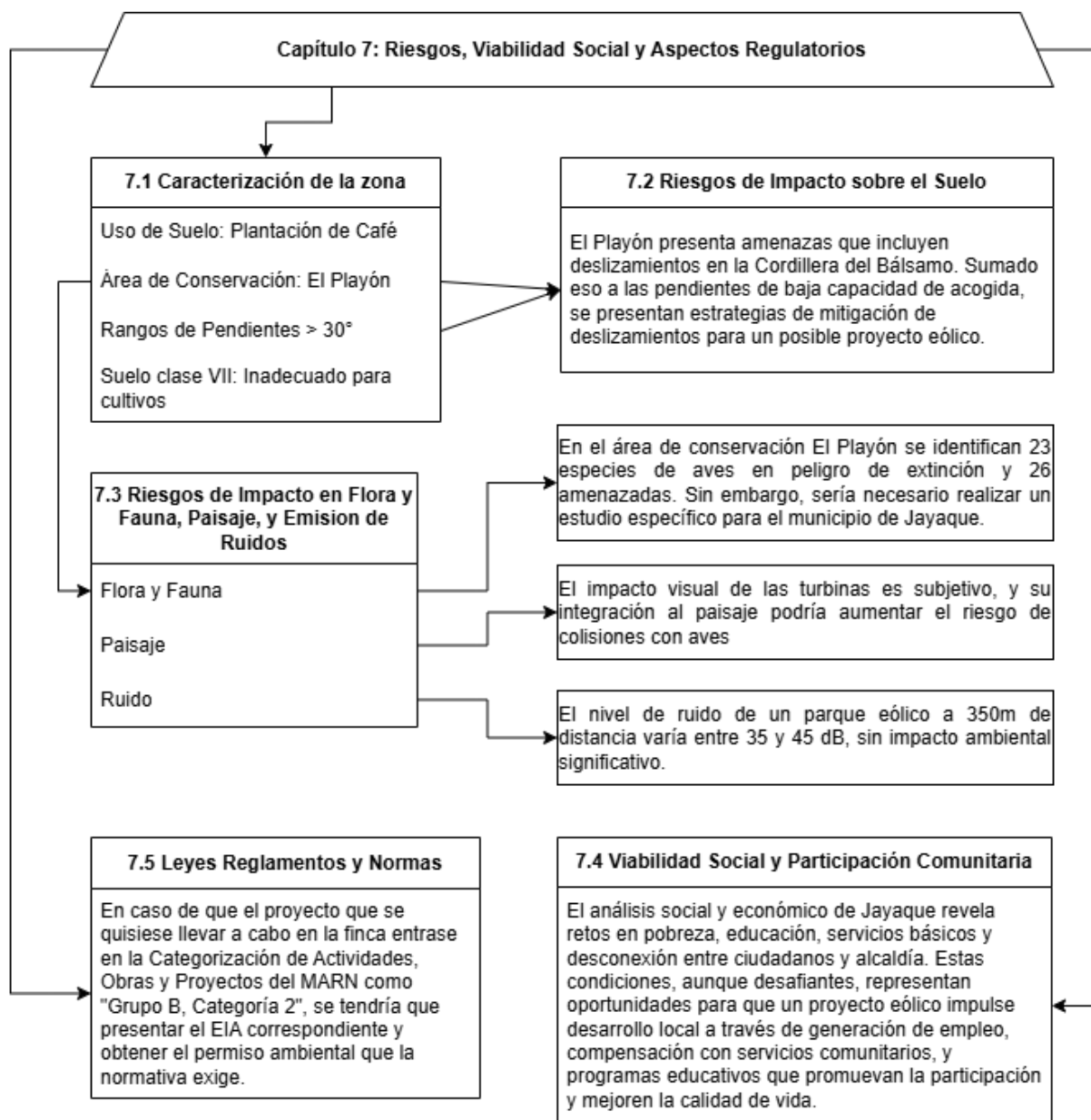


Figura 6.3 – Síntesis del Capítulo 7

II. Conclusiones y Recomendaciones

- En base al potencial estimado con el uso de un solo aerogenerador, la producción de energía es suficiente para satisfacer la demanda aproximada de una escuela de 200 alumnos o 170 viviendas.
- A pesar del buen potencial eólico de la zona, las condiciones de acceso representan un desafío significativo para el transporte e instalación de aerogeneradores de gran tamaño.
- Dado que el terreno se caracteriza por cordilleras y lomas, la implementación de un parque eólico requeriría obras civiles adicionales, similares a las ya iniciadas por los propietarios de la finca. Además, considerando las dificultades de transporte y la adaptación al tipo de suelo, los aerogeneradores de eje vertical parecen ser la opción más adecuada debido a su tamaño más manejable.
- Un proyecto de esta índole posiblemente genere un impacto positivo en la comunidad de Jayaque, principalmente al crear oportunidades de empleo, dado que se evidencia una limitada oferta laboral local que obliga a los habitantes a buscar opciones fuera de la zona.
- Debido a la presencia de especies en peligro de extinción cerca de la zona, es necesario realizar un estudio de biodiversidad para identificar posibles impactos en la fauna y flora, considerando rutas migratorias y hábitats clave. También se deben establecer medidas de mitigación y monitoreo durante la construcción y operación, en coordinación con autoridades e instituciones ambientales.

III. Bibliografías.

- (1) Renewables, V. (2023, March 8). Vector renewables. *Vector Renewables*.
<https://www.vectorenrenewables.com/es/blog/principales-paises-productores-energia-eolica>
- (2) Fajardo, J. R. C. (2024, February 13). *El Salvador no tiene más del 80% de su matriz energética de renovables, como dijo el presidente de CEL*. Voz Publica. <https://vozpublica.net/2024/02/13/factchecking-energia-renovable-factchecking-elsalvador-cel/>
- (3) Renovatec. (2010). *Partes de un aerogenerador*. Partes de un aerogenerador:
<https://www.renovatec.com/articulos/partesaerogenerador.html>
- (4) persio9020. (2013, septiembre 4). *Generadores de energía eólica*. De generadores de energía eólica:
<https://generadoresenergiaeolica.blogspot.com/2013/09/tipos-de-aerogeneradores.html>
- (5) Laboratorio Nacional para la energía renovable. (2007, septiembre). *Sistemas eólicos pequeños para la generación de electricidad*. Sistemas eólicos pequeños para la generación de electricidad:
<https://www.nrel.gov/docs/fy07osti/42071.pdf>
- (6) DesQbre. (n.d.). *Descubre la Energía*.
<https://descubrelaenergia.fundaciondescubre.es/sobre-la-energia/fuentes-de-energia/energias-renovables/energia-eolica/>
- (7) structuralia. (2021, julio 2). *Aerogeneradores*. Retrieved from Aerogeneradores: <https://blog.structuralia.com/aerogeneradores>

- (8) Renovetec. (2019). *Mantenimiento de aerogeneradores*. Retrieved from Clasificacion de los aerogeneradores: <http://www.mantenimientodeaerogeneradores.com/index.php/atrapando-el-son-y-el-viento>
- (9) wordpress. (2014, febrero). *Mecanismos de un aerogenerador*. Retrieved from Mecanismos de un aerogenerador: <https://triplep97.wordpress.com/energia-eolica/aerogeneradores/partes-de-un-aerogenerador/mecanismo-de-orientacion/>
- (10) Sanchez, C. (2019, marzo 6). *EnQenergynews*. de: <https://www.energynews.es/norvento-eolica-marina/>
- (11) Manuales+. (2023, mayo 2). *manualesplus*. de: <https://manuals.plus/es/smart-cover/sf15-48-wind-controller-for-1500w-48v-ac-wind-turbine-generator-manual>
- (12) Comision Europea. (2020, Abril). *CORDIS - Resultados de investigaciones de la UE*. Retrieved from *CORDIS - Resultados de investigaciones de la UE*: <https://cordis.europa.eu/article/id/415864-modular-wood-based-wind-turbine-towers-are-cost-efficient-and-co2-neutral/es>
- (13) Comisión Nacional de Energía (CNE). (2012). *Plan maestro para el desarrollo de las energías renovables en El Salvador*.
- (14) Molina, K. (2023). *En la costa salvadoreña CEL estudia construir parque eólico marino*. El Economista. <https://www.economista.net/centroamerica/En-la-costa-salvadorena-CEL-estudia-construir-parque-eolico-marino-20231128-0001.html>

- (15) Ventus (SV) (El Salvador) - *Parques eólicos* - Acceso en línea - The Wind Power. (n.d.). [https://www.thewindpower.net/windfarm_es_30773_ventus-\(sv\).php](https://www.thewindpower.net/windfarm_es_30773_ventus-(sv).php)
- (16) Roca, J. A. (2021). *El Salvador pone en marcha con éxito su primer parque eólico*. *El Periódico De La Energía*. <https://elperiodicodelaenergia.com/el-salvador-pone-en-marcha-con-exito-su-primer-parque-eolico/>
- (17) Reve. (2023). *El auge de la energía eólica en El Salvador | REVE Actualidad del sector eólico en España y en el mundo*. <https://www.evwind.com/2023/08/01/el-auge-de-la-energia->
- (18) Guevara Díaz, J. M. (2013). *Cuantificación del perfil del viento hasta 100 m de altura desde la superficie y su incidencia en la climatología eólica*. Universidad Central de Venezuela.
- (19) Vestas. (n.d.). *V136-3.45 MW*. Vestas. <https://www.vestas.com/en/energy-solutions/onshore-wind-turbines/4-mw-platform/V136-3-45-MW>
- (20) Meteostat. (2024). *Datos meteorológicos de La Libertad, El Salvador*. Recuperado de <https://meteostat.net>
- (21) Rodríguez J. (2022) *Clases de suelo*. ArcGis.
- (22) Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador. (2011). *Fichas de las Áreas de Conservación*.
- (23) Molina Ruiz, J., & Tudela Serrano, M. L. (2008). *Elección de criterios y valoración de impactos ambientales para la implantación de energía eólica*. Universidad de Murcia.
- (24) Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador. (s.f.). *Visualizador de Información Geográfica de Evaluación Ambiental*.

- (25) Oficina Nacional de Estadística y Censos. (2021). *Proyecciones de población municipal 2020-2030*.
- (26) Alberti Arroyo, J. R., Canales Bernal, R. E., & Sandoval, B. H. E. (2006). *Técnicas de mitigación para el control de deslizamientos en taludes y su aplicación a un caso específico*. Universidad de El Salvador.
- (27) Hernández et al., (2018). *Kuxulkab. Impactos ambientales de la energía eólica*. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco
- (28) Palma Ramírez, A. M., Pérez Velasco, S. D., & Salinas Ríos, C. V. (2013). *Propuesta de conservación del centro urbano de Jayaque, La Libertad a partir de la revalorización y revitalización de su patrimonio cultural*. Universidad Dr. José Matías Delgado.
- (29) Mosquera López, S., & Fernández Gómez, J. (2023). *Aceptación social de proyectos de energía renovable locales*. Instituto Vasco de Competitividad.
- (30) Oficina Nacional de Estadística y Censos. (2007). *VI Censo de Población y Vivienda*
- (31) Reyes, M. (2016). *Aumenta la generación de energía con base en fuentes renovables*. elsalvador.com. De:
<https://historico.elsalvador.com/historico/192108/aumenta-la-generacion-de-energia-con-base-en-fuentes-renovables.html>.
- (32) González, R. (2024, abril 13). *Informe especial: Vientos del noreste moderados y ocasionalmente fuertes*. Dirección General del Observatorio de Amenazas y Recursos Naturales, Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), El Salvador. Recuperado de
<https://www.snet.gob.sv/ver/meteorologia/informes+especiales/?evento=471>

IV. ANEXOS

Anexo 1: Presupuesto de Investigación

A continuación se presentan los costos detallados asociados a la realización de la investigación, incluyendo viáticos, equipo, materiales y otros insumos necesarios para el desarrollo del proyecto.

Gastos por Visita		N° visitas	Total
Gasolina	\$ 15.00	9	\$ 135.00
Depreciación de vehículo	\$ 10.00		\$ 90.00
Alimentación personal	\$ 20.00		\$ 180.00
Total	\$ 45.00		\$ 405.00

Costos Iniciales	
Anemómetro	\$ 32.98
Material PVC	\$ 7.15
Computadora y servicios	\$ 500.00
Total	\$ 540.13

Costos Totales = \$ 945.13

Anexo 2: Percepción Comunitaria sobre el Proyecto Eólico

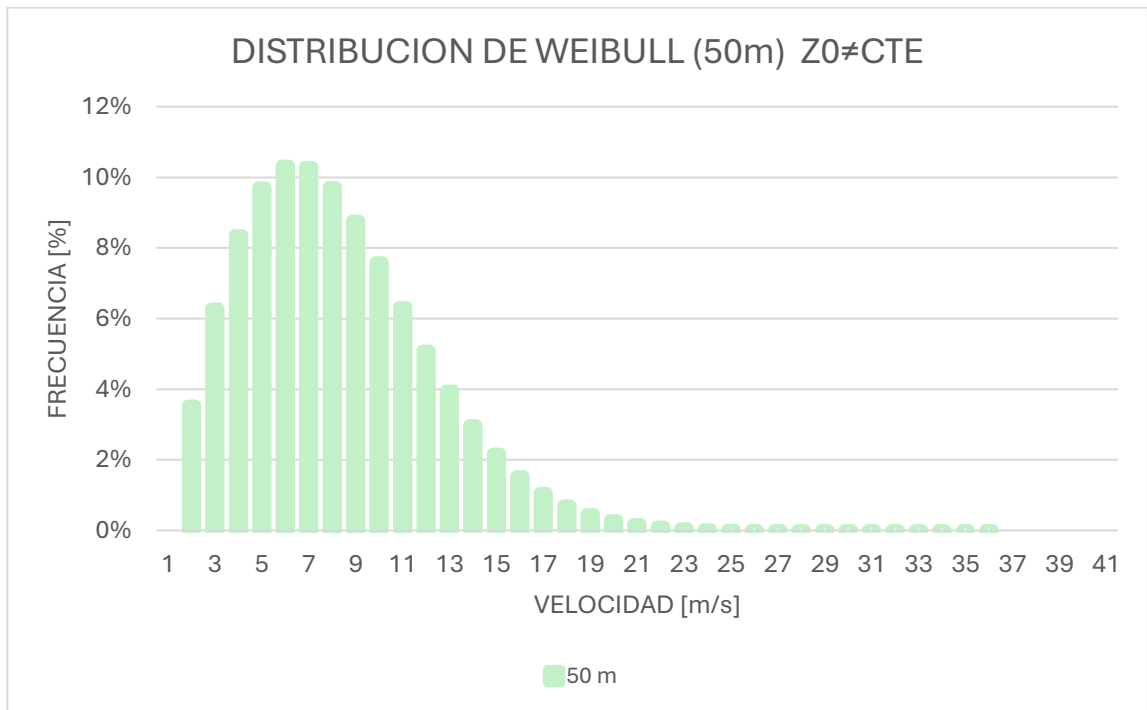
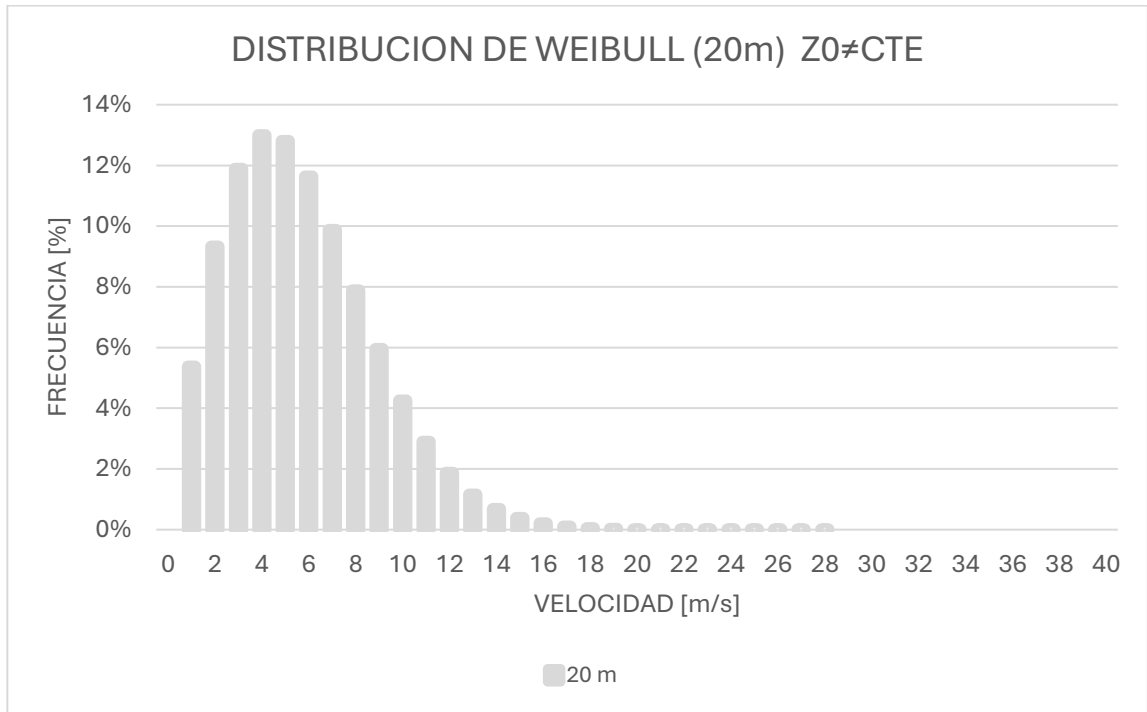
Para aproximarnos a la opinión de la comunidad respecto a proyectos eólicos en la zona, presentamos una reseña de los comentarios de don Francisco, el cuidador de la finca Marina Cumbre, quien ha sido el principal contacto local en el área de estudio. Don Francisco reside en la finca por autorización de los dueños, quienes le han confiado tanto la seguridad de la propiedad como la supervisión del cultivo de café. Además, él cuenta con un terreno propio en la región de Jayaque, aunque carece de título de propiedad.

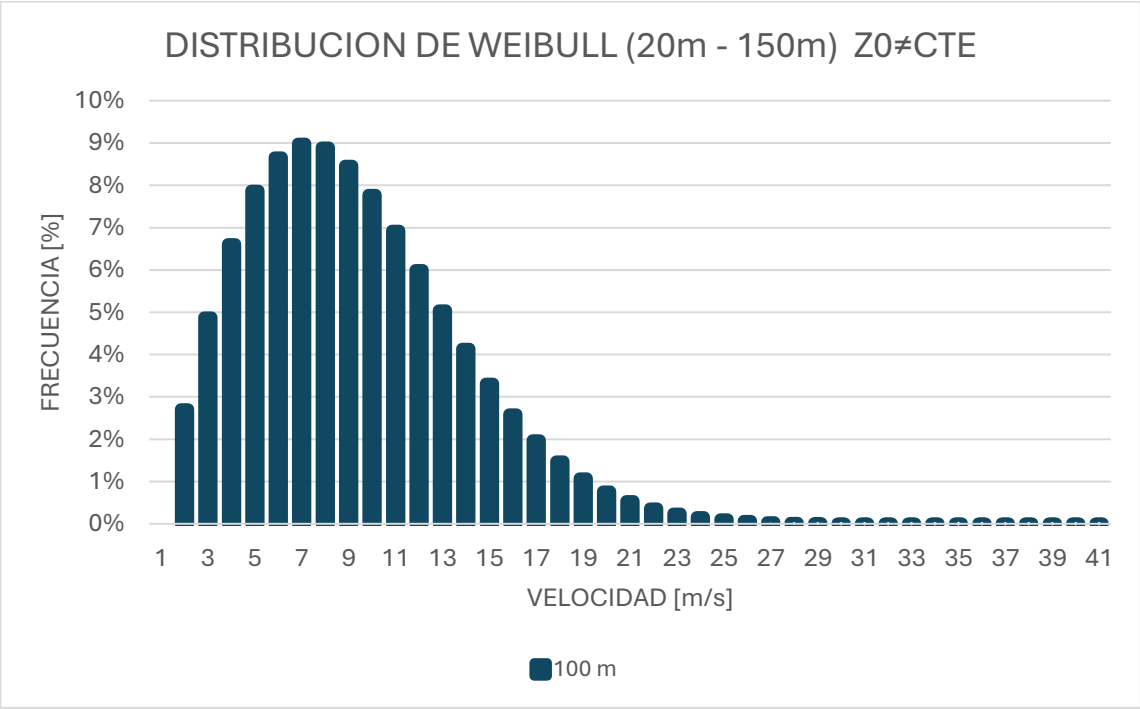
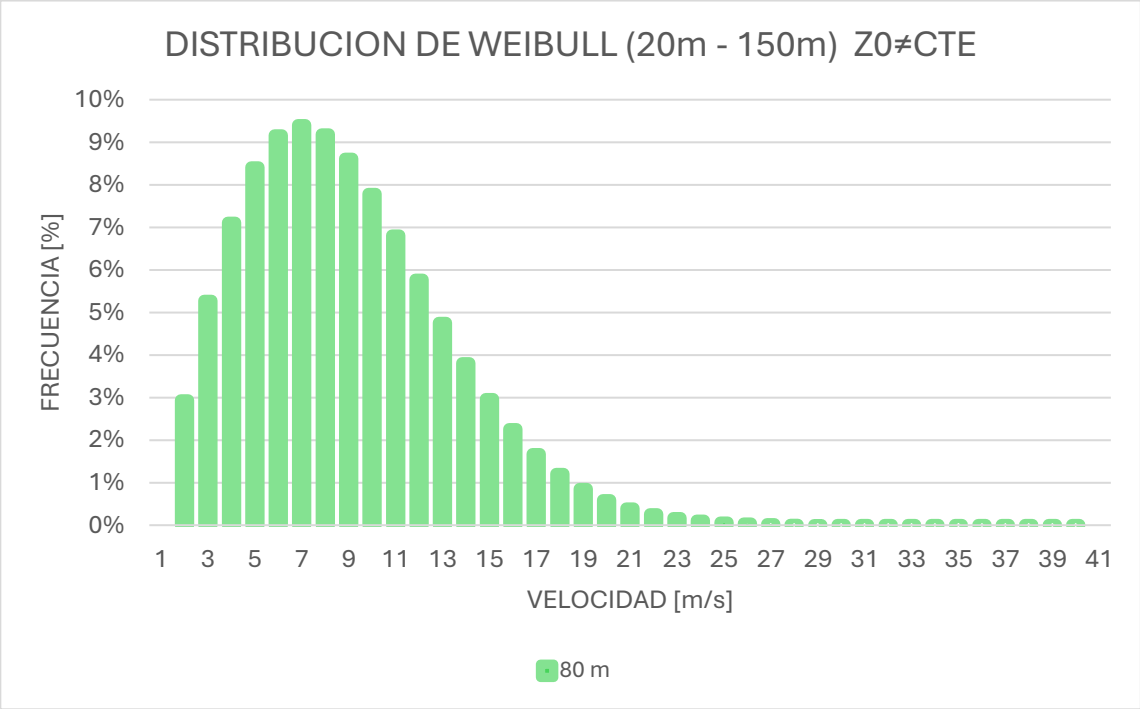
Durante nuestras visitas, don Francisco mostró una disposición abierta y colaborativa. Su apoyo fue esencial para la realización de nuestras mediciones, llevándonos a los sitios requeridos y permitiéndonos permanecer en la finca el tiempo necesario.

A pesar de no contar con un conocimiento amplio sobre tecnología, se mostraba curioso por nuestras actividades, preguntando acerca de la energía eólica y su funcionamiento. Sin embargo, es de reconocer que su interés surgía de la novedad que representa las tecnologías en general en el contexto de su entorno habitual, más que por la energía eólica en sí.

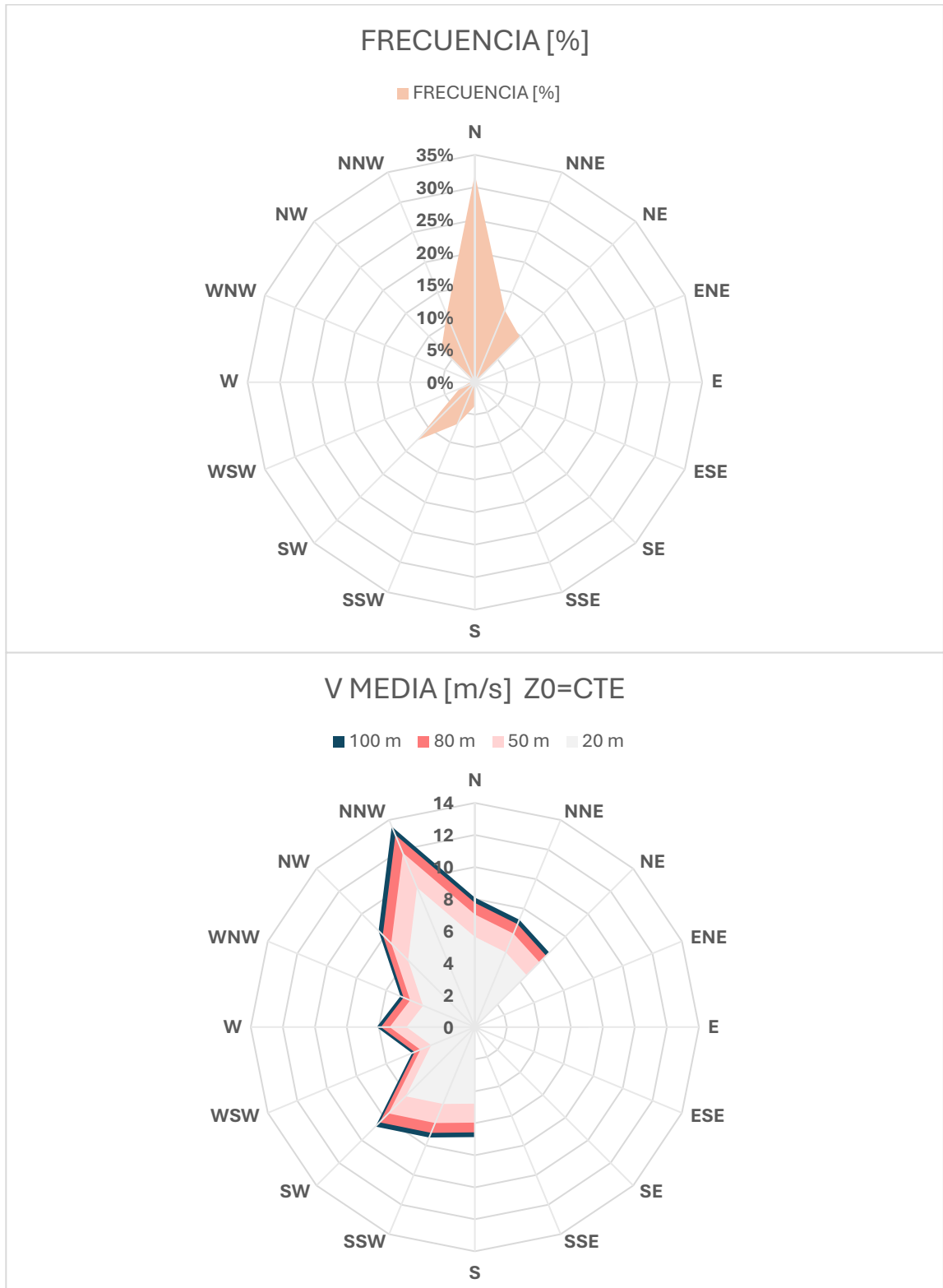
Don Francisco también mencionó que los dueños de la finca planean realizar inversiones para impulsar el turismo, como la construcción de hoteles y restaurantes. Su receptividad hacia nuestro proyecto, en conjunto con sus comentarios sobre el desarrollo de la zona, permite inferir que proyectos similares que incluyan tecnología novedosa podrían ser bien recibidos por la comunidad. En sus palabras, le entusiasmaba ver que personas de fuera se interesaran por Jayaque y, en especial, por su finca.

Anexo 3: Distribuciones de Weibull para diferentes alturas

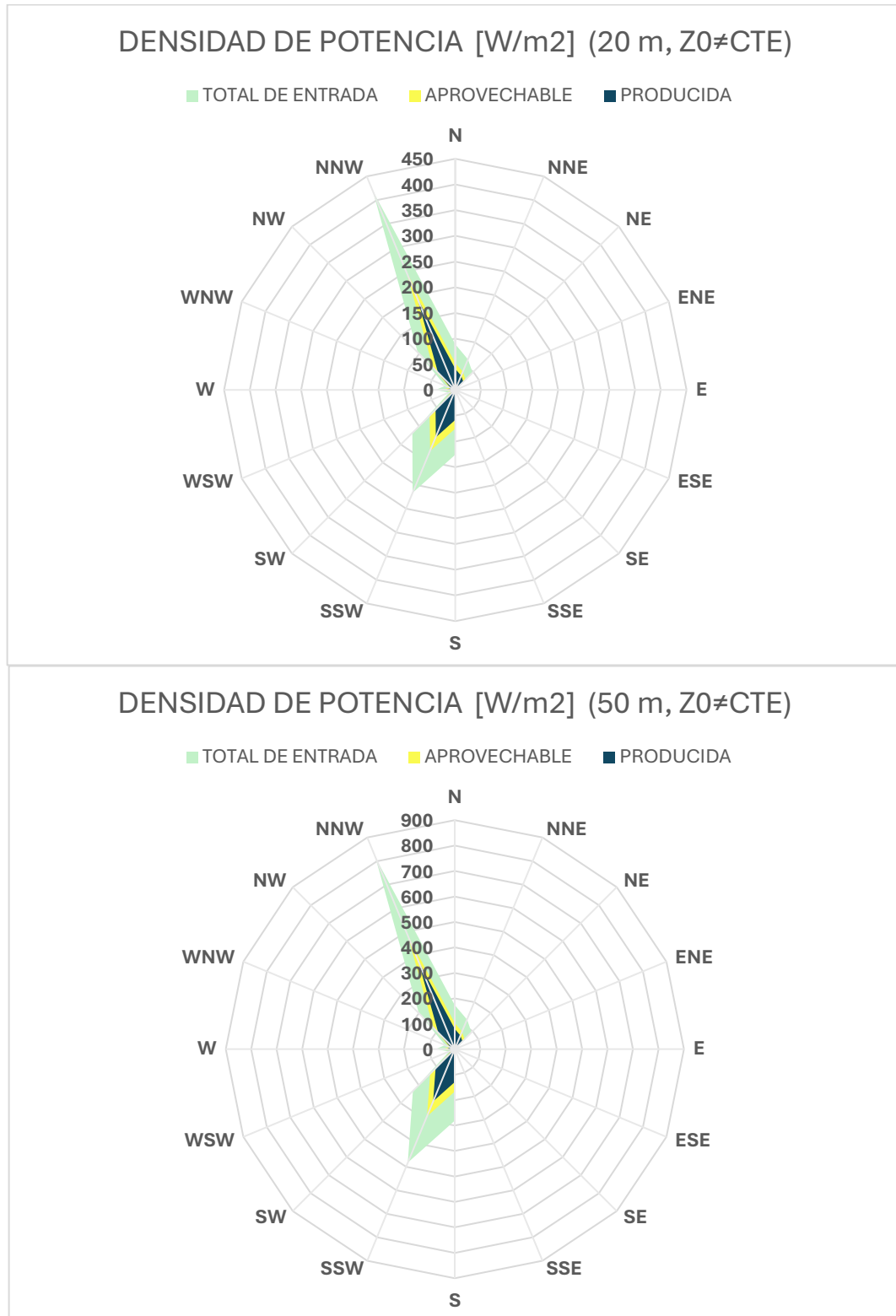




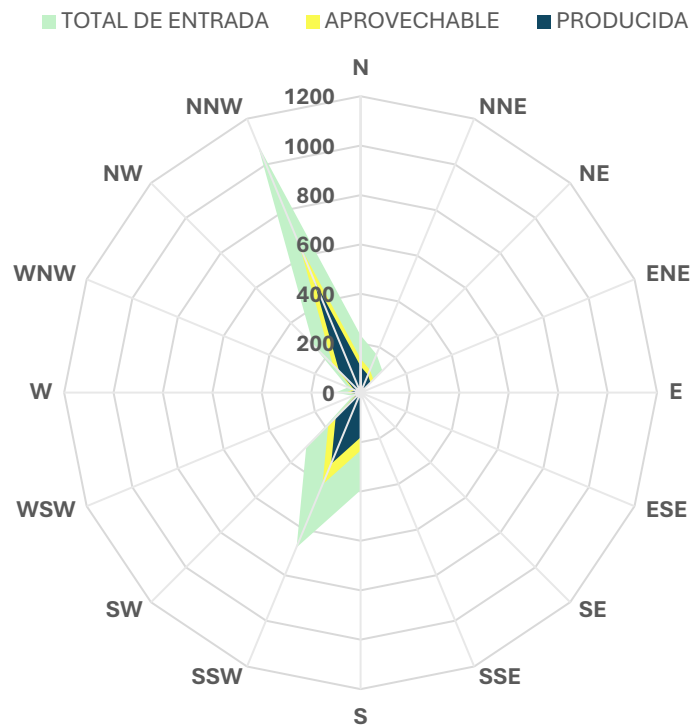
Anexo 4: Rosas de viento de frecuencia y velocidad media



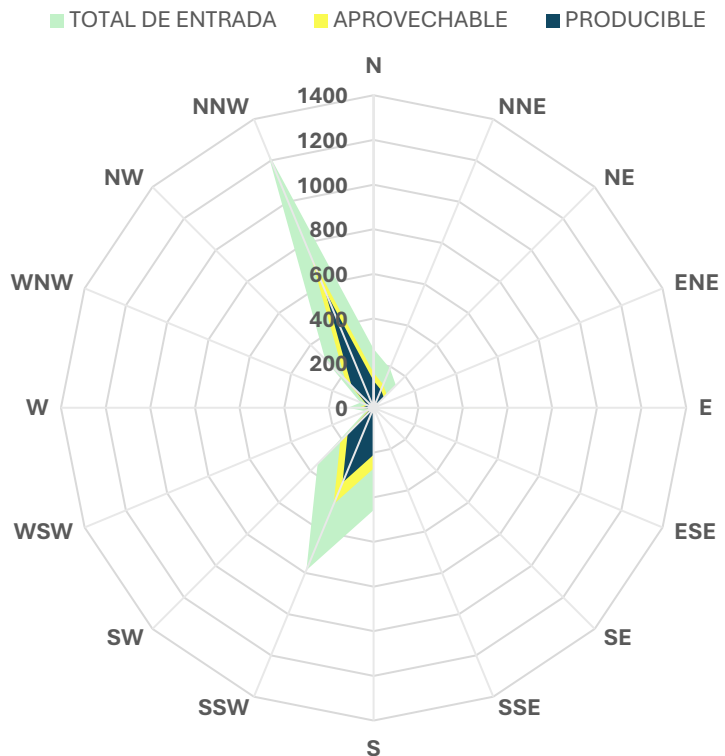
Anexo 5: Rosas de viento de potencia y energía a diferentes alturas



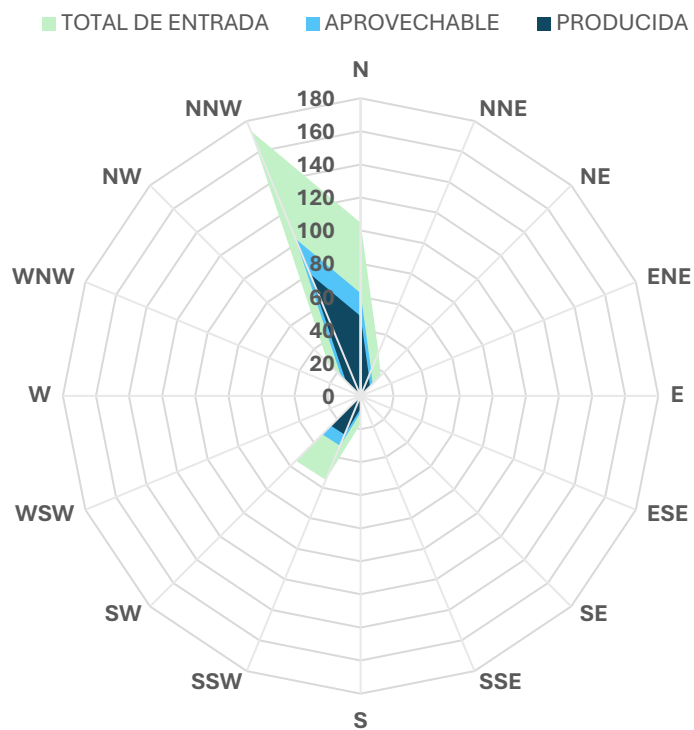
DENSIDAD DE POTENCIA [W/m²] (80 m, Z₀≠CTE)



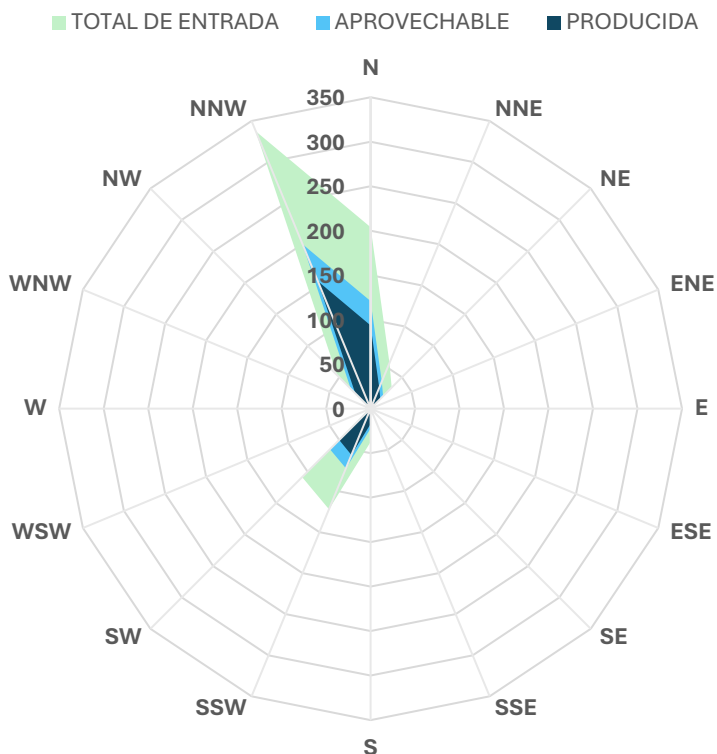
DENSIDAD DE POTENCIA [W/m²] (100 m, Z₀≠CTE)

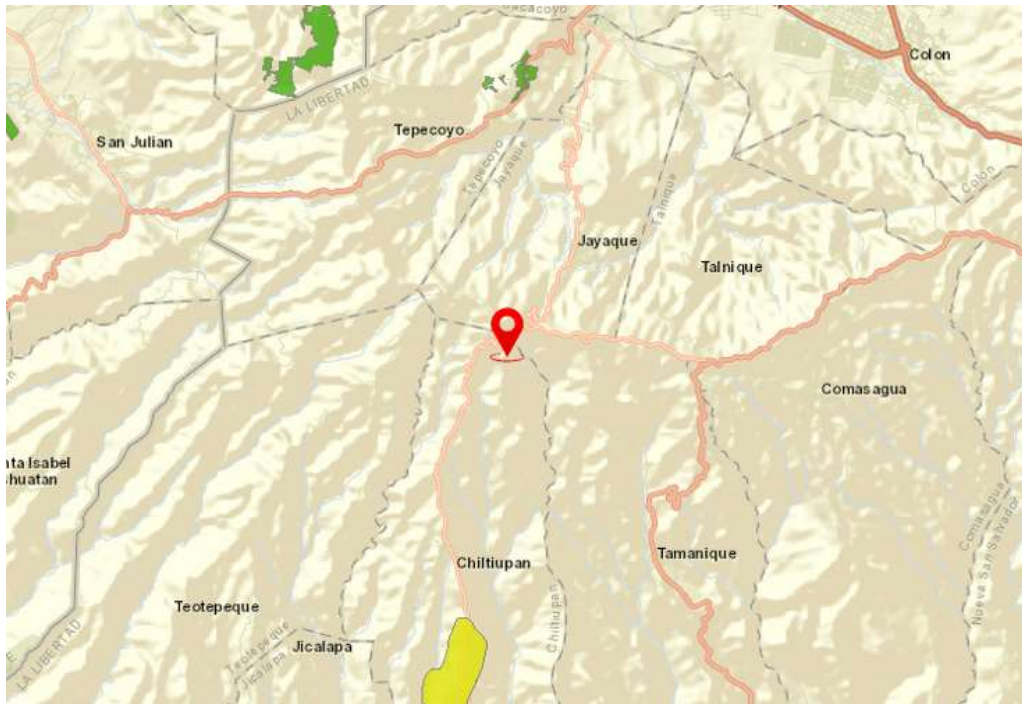


DENSIDAD DE ENERGÍA [kWh/m²] (20 m, Z0≠CTE)



DENSIDAD DE ENERGÍA [kWh/m²] (50 m, Z0≠CTE)





Áreas Protegidas en punto de estudio. (24)



Áreas de Conservación en punto de estudio: El Playón (24)

Anexo 7: Instituciones relacionadas con las Energías Renovables

Unidad Ambiental de LaGeo

La estructura de la Unidad Ambiental LaGeo se basa en seis ejes de acción:

- a. Proceso de evaluación ambiental: Dentro de este eje se encuentra la elaboración de las evaluaciones ambientales y programas de manejo ambiental para cada actividad o proyecto y ejecución de los trámites requeridos ante el MARN.
- b. Seguimiento y control de proyectos: En este eje se realizan el seguimiento y control a los programas de manejo ambiental, seguridad y salud ocupacional de los proyectos en ejecución.
- c. Sistematización de la gestión ambiental: En este eje se trabaja en la estandarización y sistematización de la gestión ambiental de los proyectos geotérmicos.
- d. Investigación y desarrollo: En este eje se busca desarrollar la investigación enfocada al manejo o control de los aspectos ambientales identificados en el desarrollo de los proyectos geotérmicos.
- e. Comunicación y divulgación: Este eje busca la participación de la empresa en los diferentes espacios de interés para dar a conocer la gestión ambiental realizada en los proyectos geotérmicos. Esta actividad se realiza con el propósito de concientizar a las personas acerca de los beneficios ambientales del desarrollo geotérmico.
- f. Atención e imprevistos: Dar soporte a otras actividades o requerimientos de la empresa relacionados con el medio ambiente.

Unidad Ambiental de CEL

La estructura de la Unidad Ambiental de CEL, está basada en la coordinación, asesoría, apoyo, supervisión y seguimiento de las políticas, planes, programas, objetivos y acciones de la institución. Según el *Plan Maestro para el Desarrollo de Energías Renovables* sus tareas se describen en:

- Planificar y ejecutar los programas de adecuación, Planes de monitoreo, resultantes de los diagnósticos ambientales.
- Velar porque en la ejecución de los proyectos de CEL, se incorpore adecuadamente el componente ambiental.
- Ejercer la contraparte en los estudios de impacto ambiental de proyectos de CEL, y gestionar las respectivas aprobaciones ante el Ministerio de medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), y ante otras instituciones relacionadas.
- Participar en actividades de consulta pública que sean requeridas en el proceso de aprobación de estudios de impacto ambiental, de proyectos de CEL.
- Asistir y participar en reuniones y actividades de carácter ambiental, promovidas por instituciones externas a CEL.
- Contribuir en el desarrollo de actividades de normativa y manejo sostenido en la cuenca del Río Lempa, en función de los embalses y futuros proyectos de CEL.
- Organizar y actualizar el sistema de información ambiental (SIA) referente a documentación relacionada con la gestión ambiental de CEL.
- Coordinar con la Gerencia de Energías Renovables todos aquellos proyectos que involucren impacto ambiental.
- Aplicar la mejora continua en las actividades desarrolladas por la unidad.

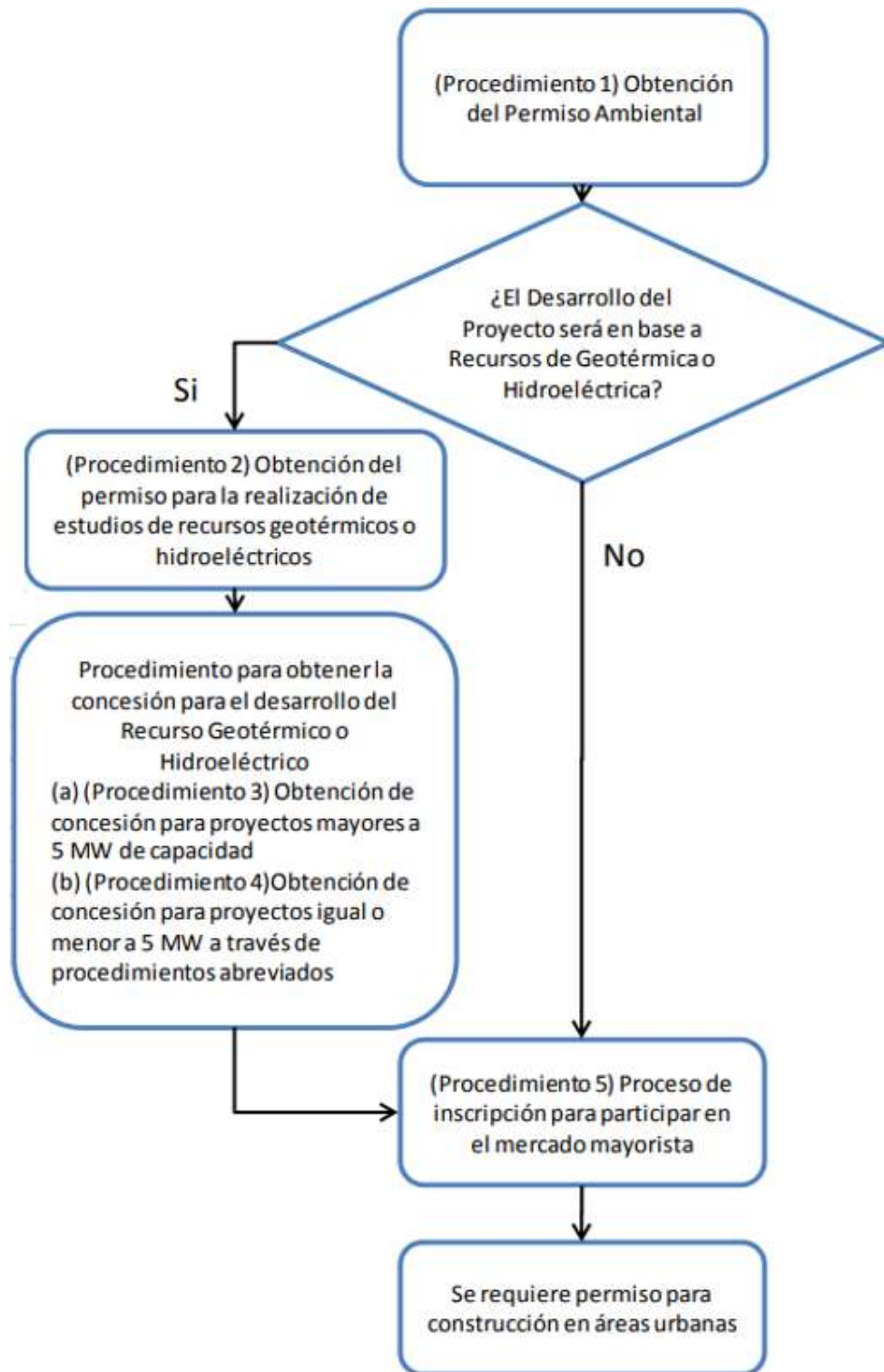
Anexo 8: Procedimiento para participación de los Generadores Privados

Esta sección detalla las leyes y normativas que los desarrolladores deben cumplir para participar en el mercado eléctrico de El Salvador, comenzando por definir las etapas de elaboración del proyecto.



Flujograma para la implementación del proyecto. (Fuente: Equipo de Estudio JICA). (13)

Los procedimientos necesarios para el desarrollo de energía eléctrica a partir de fuentes renovables se categorizan en cinco etapas principales, las cuales se presentan en los siguientes flujogramas.



Flujograma del registro de productores de energía en el Mercado Eléctrico. (13)

Procedimiento 1: Obtención del Permiso Ambiental

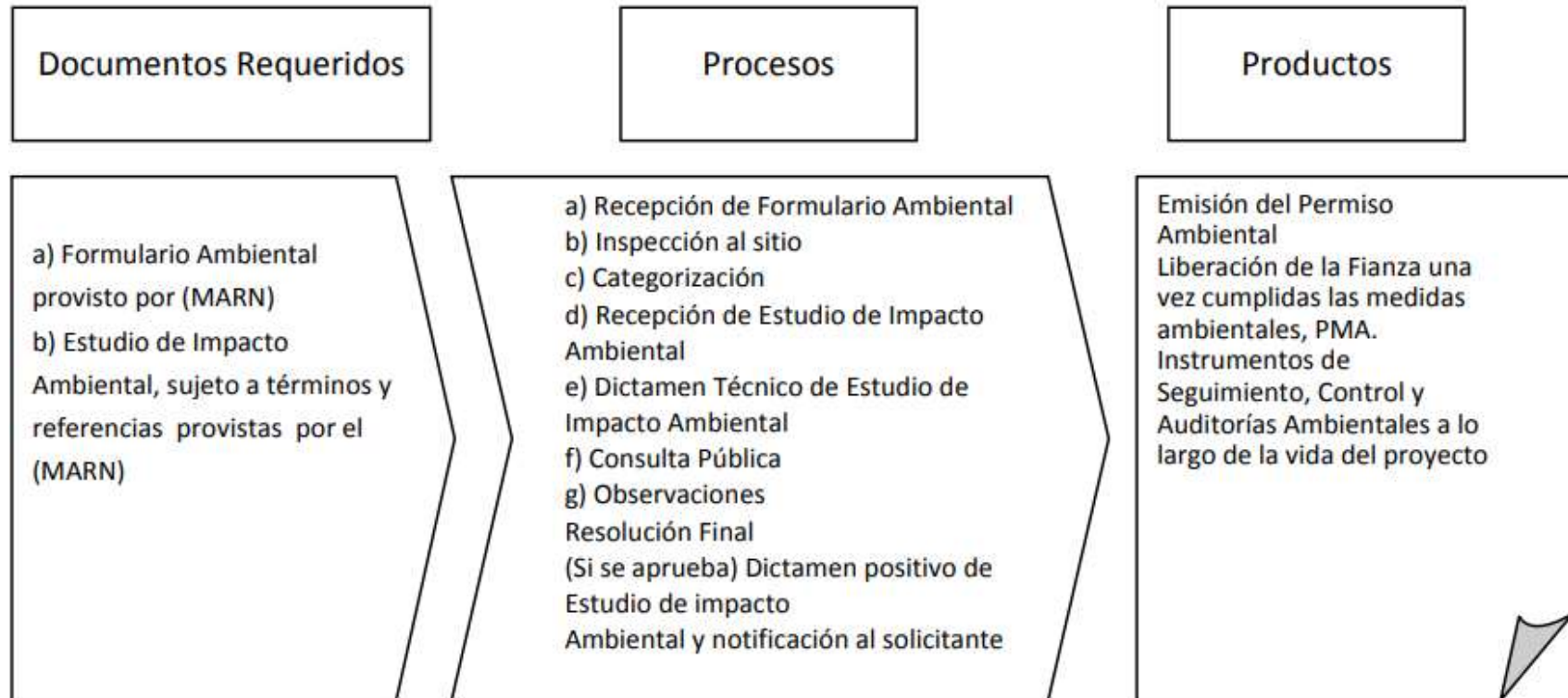


Figura 7.5 – Procesos para obtener el permiso ambiental (Fuente: Reporte de SIGET, ARECA). (23)

Procedimiento 5: Proceso de Inscripción en el Mercado Mayorista



Figura 7.6 – Procedimientos para el registro en la participación del mercado mayorista (Fuente: Reporte de SIGET, ARECA). (23)

Anexo 9: Mediciones de viento en Finca Marina Cumbre, Jayaque.

13°65'N 89°46'O				1298.1 m	
7/4/2024					
	VELCOIDAD [m/s]	DIRECCIÓN	TEMPERATURA [°C]	ALTURA DE MEDICION [m]	HORA
1	0.8	N20O	29.4	2	9:40:00 AM
2	1.5	N15E	29.5	2	9:50:00 AM
3	2	N10E	29.3	2	10:00:00 AM
4	0.5	N45O	29.5	2	10:10:00 AM
5	0.8	N40O	29.4	2	10:20:00 AM
6	1.5	N10E	30.9	2	10:30:00 AM
7	1.7	N	30.7	2	10:40:00 AM
8	1.3	N20O	30.8	2	10:50:00 AM
9	6.4	N25O	30.1	2	11:00:00 AM
10	2.2	N25O	31	2	11:10:00 AM
11	0.5	S60O	29.3	2	11:20:00 AM
12	2.2	S80O	31	2	11:30:00 AM
13	2.2	N	31	2	11:40:00 AM
14	1.3	N	30.8	2	11:50:00 AM
15	1.5	N10E	30.8	2	12:00:00 PM
16	1.7	N	30.7	2	12:10:00 PM
17	0.9	N	30.8	2	12:20:00 PM
18	1.1	S45O	31	2	12:30:00 PM
19	0.9	N12E	31	2	12:40:00 PM
20	1.4	N	32	2	12:50:00 PM
21	1.3	N10E	33	2	1:00:00 PM
22	1.1	N30E	33	2	1:10:00 PM
23	0.9	S30O	33	2	1:20:00 PM
24	1.4	S20O	33	2	1:30:00 PM
25	1.6	N30E	33	2	1:40:00 PM
26	1.4	N33E	32	2	1:50:00 PM
27	0.9	N30E	32	2	2:00:00 PM
28	1.2	N	32	2	2:10:00 PM
29	1.5	N	32	2	2:20:00 PM
30	1.1	N12E	32	2	2:30:00 PM
31	0.8	N25E	31	2	2:40:00 PM
32	0.5	N	31	2	2:50:00 PM
33	1.2	N20O	31	2	3:00:00 PM
34	1.3	S20O	31	2	3:10:00 PM
35	1.1	N23E	31	2	3:20:00 PM

36	0.9	N12E	30	2	3:30:00 PM
37	1.6	N	30	2	3:40:00 PM
38	1.1	N10E	30	2	3:50:00 PM
39	1.4	N	30	2	4:00:00 PM

13°65'N 89°46'O			1298.1 m		
14/4/2024					
	VELCOIDAD [m/s]	DIRECCIÓN	TEMPERATURA [°C]	ALTURA DE MEDICION [m]	HORA
1	3.1	N35O	32.6	2	12:40:00 PM
2	4.5	N	32.7	2	12:50:00 PM
3	7	N10E	32.9	2	1:00:00 PM
4	5.8	N10E	32.3	2	1:10:00 PM
5	3.2	N	32.9	2	1:20:00 PM
6	4.8	N50O	32.7	2	1:30:00 PM
7	7.2	N45O	32.6	2	1:40:00 PM
8	7.1	N25O	32	2	1:50:00 PM
9	5.8	N15E	32.1	2	2:00:00 PM
10	9.5	N15E	32.9	2	2:10:00 PM
11	9.9	N	32.9	2	2:20:00 PM
12	5.2	S45O	32	2	2:30:00 PM
13	6.4	S30O	31	2	2:40:00 PM
14	8.2	S30O	31.9	2	2:50:00 PM
15	6.1	N10E	32	2	3:00:00 PM
16	8.5	N	31.9	2	3:10:00 PM
17	10.9	N15O	30.5	2	3:20:00 PM
18	6.3	N10O	30.1	2	3:30:00 PM
19	8.3	N12O	30	2	3:40:00 PM
20	8	N15O	30	2	3:50:00 PM
21	5.1	N	30	2	4:00:00 PM
22	5.9	N16O	29.4	2	4:10:00 PM
23	7.4	N15O	29.4	2	4:20:00 PM
24	8.9	N12E	29.2	2	4:30:00 PM
25	8.5	N23O	29.2	2	4:40:00 PM
26	6	N22O	29.2	2	4:50:00 PM
27	6.3	N	29.2	2	5:00:00 PM
28	7.8	N15O	29.2	2	5:10:00 PM

13°65'N 89°46'O				1298.1 m	
28/4/2024					
	VELCOIDAD [m/s]	DIRECCIÓN	TEMPERATURA [°C]	ALTURA DE MEDICION [m]	HORA
1	1.4	N23O	27.1	2	3:00:00 PM
2	1.6	N12O	26.8	2	3:10:00 PM
3	0.9	N	26.6	2	3:20:00 PM
4	1.7	S55O	26.4	2	3:30:00 PM
5	1.2	N23O	26.2	2	3:40:00 PM
6	2.3	N25O	26.0	2	3:50:00 PM
7	1.6	S50O	25.7	2	4:00:00 PM
8	1.2	S46O	25.5	2	4:10:00 PM
9	1.4	N	25.3	2	4:20:00 PM
10	1.4	N12O	25.0	2	4:30:00 PM
11	1.8	N	24.9	3	4:40:00 PM
12	2.5	S50O	24.8	3	4:50:00 PM
13	1.4	N	24.3	3	5:00:00 PM
14	1.7	N60O	23.9	3	5:10:00 PM
15	1.6	N5O	24.1	3	5:20:00 PM
16	2.1	N5O	24.0	5	5:30:00 PM
17	1.4	S30O	23.6	5	5:40:00 PM
18	1.3	S30O	23.0	5	5:50:00 PM
19	1.1	S30O	23.0	5	6:00:00 PM
20	1.7	N50E	23.0	5	6:10:00 PM
21	1.4	N25O	22.8	5	6:20:00 PM
22	1.7	N50O	22.7	5	6:30:00 PM

13°65'N 89°46'O				1298.1 m	
5/5/2024					
	VELCOIDAD [m/s]	DIRECCIÓN	TEMPERATURA [°C]	ALTURA DE MEDICION [m]	HORA
1	1.3	N	30.9	2	10:30:00 AM
2	1.8	S45O	30.7	2	10:40:00 AM
3	1.1	N12E	30.8	2	10:50:00 AM
4	6.8	N	30.1	2	11:00:00 AM
5	4.3	N10E	31	3	11:10:00 AM
6	1.1	S60O	29.3	3	11:20:00 AM
7	2.2	N23E	31	3	11:30:00 AM
8	1.3	S80O	31	3	11:40:00 AM
9	1.4	N	30.8	3	11:50:00 AM
10	1.4	N	30.8	3	12:00:00 PM
11	1.3	N10E	30.7	3	12:10:00 PM

12	0.6	N	30.8	4	12:20:00 PM
13	1.1	N26E	31	4	12:30:00 PM
14	0.9	N10E	31	4	12:40:00 PM
15	1.2	N	32	4	12:50:00 PM
16	2	N20O	33	4	1:00:00 PM
17	2.4	N25O	33	4	1:10:00 PM
18	1.9	N25O	33	4	1:20:00 PM
19	1.4	S60O	33	4	1:30:00 PM
20	1.6	S55O	33	4	1:40:00 PM
21	1.1	N33E	32	5	1:50:00 PM
22	0.9	N30E	32	5	2:00:00 PM
23	1.5	N	32	5	2:10:00 PM
24	1.2	N	32	5	2:20:00 PM
25	1.1	N12E	32	5	2:30:00 PM
26	1.4	N22E	31	5	2:40:00 PM
27	1.8	N12E	31	5	2:50:00 PM
28	0.4	S30O	31	5	3:00:00 PM
29	0.7	S33O	31	5	3:10:00 PM
30	0.9	N30E	31	5	3:20:00 PM
31	1.4	N24E	30	5	3:30:00 PM

13°65'N 89°46'O				1298.1 m	
12/5/2024					
	VELCOIDAD [m/s]	DIRECCIÓN	TEMPERATURA [°C]	ALTURA DE MEDICION [m]	HORA
1	1.4	N40O	25.9	2	4:00:00 PM
2	2.1	N40O	25.9	2	4:10:00 PM
3	2.1	E	25.4	2	4:20:00 PM
4	1.6	E	25.4	2	4:30:00 PM
5	1.1	N40O	25.4	2	4:40:00 PM
6	1.9	N	25.5	4	4:50:00 PM
7	2.1	N15O	25.4	4	5:00:00 PM
8	2.2	N	25.4	4	5:10:00 PM
9	2.2	N10E	25.4	4	5:20:00 PM
10	1.6	N	24	4	5:30:00 PM
11	2.3	N10E	24	4	5:40:00 PM
12	2.3	N	24.2	5	5:50:00 PM
13	2.2	N	24.2	5	6:00:00 PM

2/6/2024					
	VELCOIDAD [m/s]	DIRECCIÓN	TEMPERATURA [°C]	ALTURA DE MEDICION [m]	HORA
1	2.3	N	29	3	8:10:00 AM
2	2.4	N	29	3	8:20:00 AM
3	1.4	N	29.8	3	8:30:00 AM
4	1.6	N30E	29.8	3	8:40:00 AM
5	2.5	N45E	29.9	3	8:50:00 AM
6	1.1	S	30	3	9:00:00 AM
7	1.8	N50E	30	3	9:10:00 AM
8	1.5	S45O	30	3	9:20:00 AM
9	2.2	N45E	30	3	9:30:00 AM
10	4.6	N	30	3	9:40:00 AM
11	2.3	S30O	30	3	9:50:00 AM
12	2.1	S	30.3	3	10:00:00 AM
13	1.8	N35O	30.3	3	10:10:00 AM
14	1.1	N	30.3	3	10:20:00 AM
15	2.4	S20O	30.3	3	10:30:00 AM
16	1.5	N	30.9	3	10:40:00 AM
17	1.8	N45E	31.2	3	10:50:00 AM
18	1.9	N45E	31.2	3	11:00:00 AM
19	1.6	S50O	31.2	3	11:10:00 AM
20	2.4	S	31.2	3	11:20:00 AM
21	2.1	N	31.2	3	11:30:00 AM
22	4.2	S45O	31.2	3	11:40:00 AM
23	1.5	O60N	31.4	3	11:50:00 AM
24	2.3	S70O	31.4	3	12:00:00 PM
25	1.8	N45E	31.4	3	12:10:00 PM
26	4.5	N30E	31.4	3	12:20:00 PM
27	4.2	N	31.4	3	12:30:00 PM
28	3.3	S50O	31.4	3	12:40:00 PM
29	4.2	N	31.4	3	12:50:00 PM
30	2	S40O	31.4	3	1:00:00 PM
31	1.5	N50E	31.4	3	1:10:00 PM
32	2	N35O	30.9	3	1:20:00 PM
33	3.2	S45O	30.9	3	1:30:00 PM
34	1.2	N	30.6	3	1:40:00 PM
35	1.5	N50E	30.6	3	1:50:00 PM
36	2.4	N45E	30.6	3	2:00:00 PM
37	2.2	S30O	30.4	3	2:10:00 PM
38	2.8	N	30.2	3	2:20:00 PM
39	1.4	S70O	30	3	2:30:00 PM

40	1.6	N30E	30	3	2:40:00 PM
41	1.7	N	30	3	2:50:00 PM
42	1.9	N15E	30	3	3:00:00 PM

13°65'N 89°46'O				1298.1 m	
14/7/2024					
	VELOCIDAD [m/s]	DIRECCIÓN	TEMPERATURA [°C]	ALTURA DE MEDICION [m]	HORA
1	4.4	S	30.2	3	9:45:00 AM
2	5.7	N	30.2	3	9:55:00 AM
3	2.6	N	30.2	3	10:05:00 AM
4	1.6	N45E	30.2	3	10:15:00 AM
5	2	N13E	28.9	3	10:25:00 AM
6	2.1	N18E	28.9	3	10:35:00 AM
7	1.6	S	28.9	3	10:45:00 AM
8	2.2	N46E	28.9	3	10:55:00 AM
9	2.5	N	29	3	11:05:00 AM
10	4.2	N50E	29	3	11:15:00 AM
11	2.2	N45E	30	3	11:25:00 AM
12	2.5	S45O	30.3	3	11:35:00 AM
13	2.7	N35O	30.3	3	11:45:00 AM
14	1.0	S20O	30.3	3	11:55:00 AM
15	2.8	S	30.3	3	12:05:00 PM
16	1.3	N	30.9	3	12:15:00 PM
17	2.7	S45O	31.2	3	12:25:00 PM
18	2.7	S20O	31.2	3	12:35:00 PM
19	1.6	N	31.2	3	12:45:00 PM
20	2.3	N	31.2	3	12:55:00 PM
21	1.3	S45O	31.2	3	1:05:00 PM
22	4.6	O60N	31.2	3	1:15:00 PM
23	1.5	S70O	30	3	1:25:00 PM
24	2.5	N45E	30	3	1:35:00 PM
25	1.9	N45E	30	3	1:45:00 PM
26	4.8	S50O	30.2	3	1:55:00 PM
27	4.4	S50O	30.2	3	2:05:00 PM
28	3.1	S50O	30	3	2:15:00 PM
29	4.5	S50O	30	3	2:25:00 PM
30	5	S50O	30	3	2:35:00 PM
31	3.6	S45O	30	3	2:45:00 PM
32	2	N	30	3	2:55:00 PM
33	3.3	S45O	30	3	3:05:00 PM

13°65'N 89°46'O				1298.1 m	
21/7/2024					
	VELOCIDAD [m/s]	DIRECCIÓN	TEMPERATURA [°C]	ALTURA DE MEDICION [m]	HORA
1	2.2	N	32.6	3	10:00:00 AM
2	2.5	S	32.6	3	10:10:00 AM
3	1.1	N45E	32.6	3	10:20:00 AM
4	2.2	S30O	32.5	3	10:30:00 AM
5	1.8	N	32.1	3	10:40:00 AM
6	1.9	S70O	32	3	10:50:00 AM
7	1.1	N30E	32	3	11:00:00 AM
8	1.2	N	32	3	11:10:00 AM
9	1.8	S45O	31.5	3	11:20:00 AM
10	1.6	N50E	32	3	11:30:00 AM
11	1.8	S45O	32.9	3	11:40:00 AM
12	2.8	N35O	32	3	11:50:00 AM
13	1.5	S20O	31	3	12:00:00 PM
14	1.7	S	31.9	3	12:10:00 PM
15	2.9	N	32	3	12:20:00 PM
16	1.5	N	32	3	12:30:00 PM
17	4.2	S45O	32	3	12:40:00 PM
18	3.2	S20O	32	3	12:50:00 PM
19	1.2	N	32	3	1:00:00 PM
20	1.5	N30E	32	3	1:10:00 PM
21	2.1	N35E	31.5	3	1:20:00 PM
22	4.8	N50E	31.5	3	1:30:00 PM
23	1.4	N45E	31	3	1:40:00 PM
24	2.2	S45O	30	3	1:50:00 PM
25	1.6	N35O	30	3	2:00:00 PM
26	3.5	S50O	29.2	3	2:10:00 PM
27	4.8	N30E	29.2	3	2:20:00 PM
28	3.2	N45E	29.2	3	2:30:00 PM
29	2.8	S45O	29.4	3	2:40:00 PM
30	3.6	N35O	29.5	3	2:50:00 PM
31	1.4	S	29.5	3	3:00:00 PM
32	2.8	N30E	29.5	3	3:10:00 PM

13°65'N 89°46'O				1298.1 m	
1/8/2024					
	VELOCIDAD [m/s]	DIRECCIÓN	TEMPERATURA [°C]	ALTURA DE MEDICION [m]	HORA
1	2	N	32	3	8:25:00 AM
2	4.2	S45O	32.1	3	8:35:00 AM
3	3.1	S20O	32	3	8:45:00 AM
4	1.1	N	31.8	3	8:55:00 AM
5	3.1	N15O	3.18	3	9:05:00 AM
6	3.1	N	31.8	3	9:15:00 AM
7	3.5	N10E	31.8	3	9:25:00 AM
8	2.0	N	31.5	3	9:35:00 AM
9	1.3	N50E	31.4	3	9:45:00 AM
10	1.9	N25O	31	3	9:55:00 AM
11	3.2	N50O	30	3	10:05:00 AM
12	2.7	N45E	30	3	10:15:00 AM
13	4.7	N45E	30	3	10:25:00 AM
14	3.3	S50O	30	3	10:35:00 AM
15	3.2	S	30	3	10:45:00 AM
16	1.5	N	30	3	10:55:00 AM
17	3.3	N	30	3	11:05:00 AM
18	2.6	S40O	30	3	11:15:00 AM
19	2.1	N50E	29	3	11:25:00 AM
20	4.1	N35O	29	3	11:35:00 AM
21	2.8	S45O	29	3	11:45:00 AM
22	3.2	N	28.7	3	11:55:00 AM
23	0.3	N10E	29.2	3	12:05:00 PM
24	2.7	N10E	29.5	3	12:15:00 PM
25	0.7	N	30	3	12:25:00 PM
26	2.8	N50O	30.8	3	12:35:00 PM
27	2.1	N23O	31	3	12:45:00 PM
28	2.3	N25O	32	3	12:55:00 PM
29	2.9	S50O	32.1	3	1:05:00 PM
30	2.1	S46O	32.2	3	1:15:00 PM
31	1.7	N	32.2	3	1:25:00 PM
32	2	N	32.2	3	1:35:00 PM
33	1.7	N50E	32.2	3	1:45:00 PM
34	2.4	N25O	32.2	3	1:55:00 PM
35	2.9	N50O	31.8	3	2:05:00 PM