



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Aprovechamiento del potencial eólico para generar energía eléctrica
en pampas de Reque, Chiclayo-2022

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Ambiental

AUTORES:

Aldaz Gomez, Luis Jarly (orcid.org/0000-0001-5069-2568)

Lopez Bustamante, Jerly Yonil (orcid.org/0000-0003-0514-2836)

ASESOR:

Dr. Monteza Arbulú, César Augusto (orcid.org/0000-0003-2052-6707)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

CHICLAYO - PERÚ

2022

Dedicatoria

Dedicamos esta tesis a nuestros padres por el apoyo y sacrificio incondicional durante estos 5 años de estudios, dándonos el aliento necesario y muchas fuerzas para poder salir adelante, gracias a su esfuerzo logramos llegar a finalizar con éxito nuestra carrera universitaria, como no agradecer a nuestros hermanos por estar siempre pendientes, dándonos los ánimos de superación durante el desarrollo de esta etapa de nuestras vidas.

Luis Jarly y Jerly Yonil

Agradecimiento

Agradecemos a Dios por darnos la vida y salud para poder concretar con éxito nuestra carrera universitaria, y darnos las fuerzas en los momentos difíciles que pasamos, por fortalecer nuestra valentía para poder sobreponernos ante cualquier dificultad que se nos presentó en nuestro camino, también agradecer a nuestros padres por brindarnos el apoyo necesario desde el inicio hasta el final de nuestra carrera, finalmente agradecemos a nuestro asesor de tesis por su apoyo constante para poder realizar nuestra investigación.

Luis Jarly y Jerly Yonil

Índice de contenidos

Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenidos	iv
Índice de tablas	v
Índice de figuras	vi
Resumen	x
Abstract	xi
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	4
III. METODOLOGÍA	15
3.1. Tipo y diseño de investigación	15
3.2. Variables y operacionalización	15
3.3. Población, muestra y muestreo	16
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	16
3.5. Procedimientos	17
3.6. Método de análisis de datos	19
3.7. Aspectos éticos	19
IV. RESULTADOS	20
V. DISCUSIÓN	56
VI. CONCLUSIONES	58
VII. RECOMENDACIONES	59
REFERENCIAS	60
ANEXOS	66

Índice de tablas

Tabla 1. <i>Coeficiente de rugosidad según Hellmann</i>	10
Tabla 2. <i>Ubicación de los puntos de muestreo</i>	20
Tabla 3. <i>Promedio de la velocidad del viento de los 4 Puntos</i>	33
Tabla 4. <i>Promedio de producción de energía en los 4 Puntos</i>	48
Tabla 5. <i>Potencia teórica a 3 metros de altura</i>	49
Tabla 6. <i>Frecuencia de velocidad del viento a 3 metros</i>	50
Tabla 7. <i>Potencia teórica a 30 metros de altura</i>	52
Tabla 8. <i>Frecuencia de velocidad de viento a 30 metros</i>	53

Índice de figuras

<i>Figura 1.</i> Distribución de Weibull.....	11
<i>Figura 2.</i> Curva de demanda.....	13
<i>Figura 3.</i> Procedimiento	17
<i>Figura 4.</i> Perfil de la velocidad del viento día 1-P1	21
<i>Figura 5.</i> Perfil de la velocidad del viento día 2-P1	21
<i>Figura 6.</i> Perfil de la velocidad del viento día 3-P1	22
<i>Figura 7.</i> Perfil de la velocidad del viento día 4-P1	22
<i>Figura 8.</i> Perfil de la velocidad del viento día 5-P1	23
<i>Figura 9.</i> Perfil promedio de la velocidad del viento punto 1	23
<i>Figura 10.</i> Perfil de la velocidad del viento día 1-P2	24
<i>Figura 11.</i> Perfil de la velocidad del viento día 2-P2	24
<i>Figura 12.</i> Perfil de la velocidad del viento día 3-P2	25
<i>Figura 13.</i> Perfil de la velocidad del viento día 4-P2	25
<i>Figura 14.</i> Perfil de la velocidad del viento día 5-P2	26
<i>Figura 15.</i> Perfil promedio de la velocidad del viento punto 2	26
<i>Figura 16.</i> Perfil de la velocidad del viento día 1-P3	27
<i>Figura 17.</i> Perfil de la velocidad del viento día 2-P3	27
<i>Figura 18.</i> Perfil de la velocidad del viento día 3-P3	28
<i>Figura 19.</i> Perfil de la velocidad del viento día 4-P3	28
<i>Figura 20.</i> Perfil de la velocidad del viento día 5-P3	29

<i>Figura 21.</i> Perfil promedio de la velocidad del viento punto 3	29
<i>Figura 22.</i> Perfil de la velocidad del viento día 1-P4	30
<i>Figura 23.</i> Perfil de la velocidad del viento día 2-P4	30
<i>Figura 24.</i> Perfil de la velocidad del viento día 3-P4	31
<i>Figura 25.</i> Perfil de la velocidad del viento día 4-P4	31
<i>Figura 26.</i> Perfil de la velocidad del viento día 5-P4	32
<i>Figura 27.</i> Perfil promedio de la velocidad del viento punto 4	32
<i>Figura 28.</i> Perfil promedio de la velocidad del viento de los 4 Puntos	33
<i>Figura 29.</i> Distribución de frecuencias real y Weibull.....	34
<i>Figura 30.</i> Distribución de probabilidad de frecuencia Weibull	34
<i>Figura 31.</i> Distribución de frecuencias real y Weibull.....	35
<i>Figura 32.</i> Distribución de probabilidad de frecuencia Weibull	36
<i>Figura 33.</i> Producción de energía en el día 1-P1	36
<i>Figura 34.</i> Producción de energía en el día 2-P1	37
<i>Figura 35.</i> Producción de energía en el día 3-P1	37
<i>Figura 36.</i> Producción de energía en el día 4-P1	38
<i>Figura 37.</i> Producción de energía en el día 5-P1	38
<i>Figura 38.</i> Promedio de producción de energía en el Punto 1	39
<i>Figura 39.</i> Producción de energía en el día 1-P2	39
<i>Figura 40.</i> Producción de energía en el día 2-P2	40
<i>Figura 41.</i> Producción de energía en el día 3-P2	40

<i>Figura 42.</i> Producción de energía en el día 4-P2	41
<i>Figura 43.</i> Producción de energía en el día 5-P2	41
<i>Figura 44.</i> Promedio de producción de energía en el Punto 2	42
<i>Figura 45.</i> Producción de energía en el día 1-P3	42
<i>Figura 46.</i> Producción de energía en el día 2-P3	43
<i>Figura 47.</i> Producción de energía en el día 3-P3	43
<i>Figura 48.</i> Producción de energía en el día 4-P3	44
<i>Figura 49.</i> Producción de energía en el día 5-P3	44
<i>Figura 50.</i> Promedio de producción de energía en el Punto 3	45
<i>Figura 51.</i> Producción de energía en el día 1-P4	45
<i>Figura 52.</i> Producción de energía en el día 2-P4	46
<i>Figura 53.</i> Producción de energía en el día 3-P4	46
<i>Figura 54.</i> Producción de energía en el día 4-P4	47
<i>Figura 55.</i> Producción de energía en el día 5-P4	47
<i>Figura 56.</i> Promedio de producción de energía en el Punto 4	48
<i>Figura 57.</i> Promedio de producción de energía en los 4 Puntos.....	49
<i>Figura 58.</i> Potencia teórica a 3 metros de altura.....	50
<i>Figura 59.</i> Frecuencia de velocidad de viento a 3 metros	51
<i>Figura 60.</i> Energía estimada en (Wh) a 3 metros de altura.....	51
<i>Figura 61.</i> Energía estimada en (KWh) a 3 metros de altura	52
<i>Figura 62.</i> Potencia teórica a 30 metros de altura.....	53

<i>Figura 63.</i> Frecuencia de velocidad de viento a 30 metros	54
<i>Figura 64.</i> Energía estimada en (Wh) a 30 metros de altura.....	54
<i>Figura 65.</i> Energía estimada en (KWh) a 30 metros de altura	55

Resumen

En la investigación se tuvo como objetivo generar energía eléctrica eficiente mediante el aprovechamiento del potencial eólico en pampas de Reque, se identificó el potencial eólico con el anemómetro, finalmente se determinó la eficiencia productiva de energía eléctrica con un aerogenerador.

La investigación fue de tipo cuantitativo y aplicada, con diseño experimental de enfoque cuasi experimental, la población es el potencial eólico de pampas de Reque, la muestra fue cuatro puntos, se utilizó la técnica de la observación, el instrumento es la ficha de recolección de datos.

El mayor potencial está a partir de 12 o 13 horas, con velocidades de viento de 6.2 a 9.2m/s, con Weibull los vientos frecuentes a 3 metros están entre 6 a 8 m/s, con un potencial de 234.1W/m² y a 30 metros van de 8 a 12 m/s, con un potencial de 616.2 W/m²; la energía fue de 0.5v a 1.5v; la energía teórica a 3 metros fue de 11.71KWh y para 30 metros 10 771.12KWh.

En conclusión, la generación de energía eléctrica fue eficiente mediante el aprovechamiento del potencial eólico en pampas de Reque, ya que se puede implementar a pequeña y gran escala.

Palabras clave: Potencial eólico, energía eléctrica, anemómetro, aerogenerador.

Abstract

The objective of the research was to generate efficient electrical energy by taking advantage of the wind potential in pampas de Reque, the wind potential was identified with the anemometer, and finally the productive efficiency of electrical energy was determined with a wind turbine.

The research was quantitative and applied, with an experimental design of a quasi-experimental approach, the population is the wind potential of pampas de Reque, the sample was four points, the observation technique was used, the instrument is the data collection sheet data.

The greatest potential is from 12 or 13 hours, with wind speeds of 6.2 to 9.2m/s, with Weibull the frequent winds at 3 meters are between 6 to 8 m/s, with a potential of 234.1W/m² and at 30 meters range from 8 to 12 m/s, with a potential of 616.2 W/m²; power went from 0.5v to 1.5v; The theoretical energy at 3 meters was 11.71KWh and for 30 meters 10,771.12KWh.

In conclusion, the generation of electrical energy was efficient by taking advantage of the wind potential in Pampas de Reque, since it can be implemented on a small and large scale.

Keywords: Wind potential, electrical energy, anemometer, wind turbine.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad para el desarrollo de la sociedad y de los diferentes avances tecnológicos, la energía eléctrica tiene un rol importante para su realización, por lo cual, desde muy antes se han visto en la obligación de buscar diferentes fuentes de materias primas como los hidrocarburos para generar la energía, pero el dilema es que estas no son renovables y a largo plazo se van a extinguir, además que emanan al ambiente diferentes tipos de contaminantes nocivos produciendo en el planeta fenómenos catastróficos afectando gravemente a los ecosistemas, es por ello, que nace la iniciativa de utilizar fuentes de energías limpias y a la vez renovables como la energía eólica, solar, geotérmica, hidráulica, las cuales serían beneficiosas para la sociedad y el planeta.

La fuente eólica es una alternativa de generar energía pero de una manera sostenible, debido a la utilización de la energía cinética del viento que nos brinda la naturaleza, lo cual hace que las palas circulen haciendo que el generador entre en funcionamiento y dando como resultado energía eléctrica, siendo una gran alternativa para la sociedad para reducir costos económicos, además que es viables para el presente como para el futuro, se tiene conocimiento que en varios países del mundo se está implementando esta alternativa amigable con el planeta.

En Brasil viendo su rendimiento se considera a la energía eólica como las más viable para implementarse en dicho país, lo cual se ha tenido una gran aceptación por las diversas autoridades estatales y también de organizaciones privadas, la iniciativa nace debido que esta es una energía sostenible, eficiente y no demanda mucha inversión de implementarlo (Vargas [et al], 2019, párr. 1).

Actualmente en el mundo se cuentan con grandes cantidades de parques eólicos con palas que exceden los 100 metros de diámetros generando así 200 000 kw de potencia, en el Perú cuentan con cuatro fuentes de energía eólica, el primero que se diseñó fue en Máncora por el año 1984 generando así 32 Mw, el de Pacasmayo con 80Mw de potencia, el de Talara 30 Mw y el de Ica con 97 Mw (Mendoza, 2018, p. 2).

En la investigación se aprovechó el potencial eólico para producir energía eléctrica de una manera sostenible y amigable con el ambiente en pampas de Reque, debido a que la población tienen deficiencias para obtener el servicio de electricidad por parte de la operadora regional encargada del suministro de energía eléctrica ENSA, la cual tiene inconvenientes en las redes secundarias, que son las encargadas de llevar el suministro eléctrico a las viviendas urbanas como rurales; es por ello que no se logran abastecer en su totalidad este servicio a las zonas alejadas al casco urbano, se identificó que esta población no beneficiaria se encuentran habitando en situaciones precarias, donde les dificulta para solicitar por sus propios medios dicho servicio, en consecuencia la población tiene un baja calidad de vida, ya que, no se desarrollan plenamente en este mundo con avances tecnológicos, viendo la problemática se formuló la siguientes interrogante ¿Qué tan eficiente será la energía eléctrica en pampas de Reque mediante al aprovechamiento del potencial eólico?

La investigación se justifica de manera teórica, ya que la generación de energía eléctrica limpia es factible, porque en pampas de Reque se evidencia que existe un fuerte potencial eólico durante todos los meses del año para fines energéticos. (Atlas Eólico del Perú, 2016, p. 52).

También de manera metodológica debido a que en nuestro trabajo se empleó la tecnología necesaria para producir energía eléctrica, entre ellos tenemos un aerogenerador, anemómetro, controlador del aerogenerador, controlador de carga y batería; gracias a estos equipos se tendrá resultados más precisos.

Justificamos de manera práctica, porque se propuso una alternativa de la solución a la problemática local en pampas de Reque, debido que en esa área viene aumentando el crecimiento demográfico y muchas de estas familias carecen de los servicios básicos entre ellas la electricidad, estos hogares que habitan cerca del lugar tiene la accesibilidad de contar con éste tipo de energía renovable, ya que para implementarle es económica y eficiente, viendo el gran potencial se puede instalar proyectos a gran escala.

Finalmente, de manera social, debido que el proyecto se aprovechó las corrientes de viento que es un recurso renovable, gracias al sistema de generación de energía

eólica, se ha producido energía eléctrica limpia y económica, al implementarse a pequeña o gran escala podría ser para la población de mucha utilidad mejorando las condiciones de vida, además que impulsará el desarrollo del distrito de Reque y la región de una manera sostenible.

En la investigación se planteó como objetivo general, generar energía eléctrica eficiente mediante el aprovechamiento del potencial eólico en pampas de Reque y como objetivos específicos tenemos identificar el potencial eólico para la generación de energía eléctrica en pampas de Reque y determinar la eficiencia productiva de energía eléctrica generada en pampas de Reque.

Por lo cual se formula la siguiente hipótesis, la energía eléctrica si será eficiente en pampas de Reque gracias al aprovechamiento del potencial eólico.

II. MARCO TEÓRICO

Zegeye (2021); Ahmad [et al], (2021); Kassem, Gökçekuş y Janbein (2021). Se realizaron evaluaciones de lugares que tenían un alto potencial de viento, a través de diversas evaluaciones y predicciones con Softwares, los cuales permitían la predicción del viento, para posteriormente evaluar la viabilidad de bases de generadores eléctricos, por lo que Zegeye a través del programa Aplicación y Análisis del Atlas Eólico, obtuvo datos relevantes del viento en Etiopía, aplicando esta medida a una altura de 10m a 40m del suelo, obteniendo un potencial de 138,55 y 276,52 W/m², respectivamente. Asimismo, Ahmad, aplicó también un seguimiento de datos desde el año 2016 y 2018, a alturas topográficas de 20m, 40m, 60m y 80m, en diferentes ciudades, siendo Sanghar, la ciudad con mayor eficiencia eólica, logrando datos de 305,86 W/m² y 2665,81 kWh/m². Por el contrario, Kassem se encargó de estudiar energía eólica con ayuda de la energía solar, obteniendo datos de la NASA, aplicados a 10m de altura topográfica, expresados con el método de Weibull. Expresando que el potencial eólico es de 124,53 W/m². Demostrando que la altura de la medición de viento es un factor relevante en estos estudios.

Hussain [et al], (2019); Waewsak [et al], (2019); Al-Wesabi [et al], (2021). Estudiaron también la relevancia de la energía eólica y su aprovechamiento para crear electricidad a través de aerogeneradores, por lo que para entender el comportamiento del viento usaron un modelo matemático que exprese su variación durante el estudio, denominado "Parámetros de Weibull". Por lo que Hussain aplicó su estudio en una zona costera de Pakistán, obteniendo mediciones por Rosa de Viento que fluctúan los 13128.4 y 15 717.2 MWh, mientras que Waewsak realizó un modelado a través del programa Weather Research and Forecasting (WRF), el cual predecía el comportamiento del viento a diversas alturas y logró dar con resultados de 690 GWh/año en Tailandia; asimismo, terminando con el estudio de Wesabi en Yemen, extrajo datos eólicos durante 5 años, sin embargo el potencial generado se dio por puntos de monitoreo en diversos puntos de altura, obteniendo 220,8 W/m² a 10 m; 822,6 W/m² a 30 m y 1519,9 W/m² a 50 m. Por lo que logra demostrar la eficiencia de ciertos programas y con mayor énfasis en el modelo matemático de Weibull.

Rehman [et al], (2020); Chacko (2022); Boopathi [et al], (2021). Realizaron estudios de la potencia del viento en Tamil Nadu, el cual es un estado de ubicación costera, y reconocido como un área relevante en la generación eléctrica, dada por el viento. Aplicando diversos métodos de análisis, los tres estudios exponen datos diversos en cuanto a esta ciudad, logrando exponer su relevancia en el país de la India. Rehman, eligió tres ciudades donde se evaluaría diversos parámetros de viento durante un periodo de 38 años desde 1980, hasta el año 2017, obteniendo que la densidad eólica era de: Erode 190 W/m^2 , Coimbatore, 234 W/m^2 , siendo la ciudad con mayor eficiencia y Chennai 185 W/m^2 . Por el contrario, Chacko, realizó un monitoreo de viento durante 13 años desde el 2007 en los estados del Golfo de la ciudad de Khambhat y en la zona Sur de Tamil, las cuales presentaron velocidades eólicas de 6 m/s , durante mayor cantidad de días al año, asimismo lograron resultados de 203 W/m^2 y de 265 W/m^2 . Asimismo, Boopathi realizó su estudio en la misma zona de Tamil Nadu, obteniendo una media de 37.505 MW , después de la evaluación de siete bases eólicas en este estado.

Ibrahim (2022); Sosso, Anyouzo'o y Ndachigam (2020); Rabbani y Zeeshan (2020). Se encargaron de evaluar el potencial del viento. El primer estudio se dio en Egipto, donde se evaluó la relevancia del uso de energías renovables, aplicadas a 4 regiones: Asuán, Hurgada, Alejandría y el Cairo, tomando datos de la NASA que se dieron a 10 m de altura, demostrando que tuvo un potencial de $20,172.0 \text{ KW/h}$; Sosso decidió plantear su estudio en una zona Costera de Camerún, asimismo, aplicó un estudio de parámetros con el modelo de Weibull para fundamentar el comportamiento del viento, a alturas de 10 y 100 m , logrando cifras de $35,9 \text{ W/m}^2$ y de $195,3 \text{ W/m}^2$ de potencial de viento. Por ultimo en el estudio de Rabbani, se realizó mediciones en diversas ciudades de Pakistán a alturas desde los 10 m hasta los 80 m , en intervalos de 10 , a su vez, aplicó el método de Weibull, donde se halló que hubo 4 ciudades que demostraron mayor potencia, siendo Sujawal, Sanghar, Tando y Umerkot, las cuales tuvieron cifras de $355,6 \text{ W/m}^2$, 312 W/m^2 , $288,2 \text{ W/m}^2$ y $252,8 \text{ W/m}^2$, respectivamente. Los estudios demostraron que la altura de medición de viento es un factor vital para la generación de electricidad, pues tiene mayor incidencia en cuanto al viento y su variación.

Gao [et al], (2019); Rae y Erfort (2020). Basaron sus estudios en un análisis a espacios marinos, a través de la adquisición de datos en bases eólicas durante un cierto periodo, los cuales explicaban el comportamiento del viento, por lo que Gao aplicó el sistema LiDAR, que determinaba la detección de luz y viento, aplicado en un ecosistema marino de Hong Kong a lo largo de un año. Por el contrario, Rae aplicó un seguimiento de estudio geográfico, el cual obtendría datos de dos puntos, que se diferenciaban por la distancia de la zona costera hacia el mar, uno de 50 m de distancia, mientras que el siguiente punto tendría menos de 1000 metros lejos. Ambos obtuvieron resultados satisfactorios en cuanto al potencial eléctrico, pues Gao logró 14449 GWh y Rae logró encontrar 44.79 TWh a los 50m, y 2387.08 TWh a menos de 1000m, demostrando que hay una mayor magnitud de potencial de aire en sectores lejanos a la costa hacia lo profundo del mar.

Salam [et al], (2019); Soulouknga [et al], (2018); AlQdah [et al], (2021). desarrollaron sus investigaciones en países del oriente Medio, los cuales contaban con ecosistemas desérticos, por lo que analizaron el aprovechamiento del viento para la generación eléctrica, debido a su alta disponibilidad. Asimismo, para realizar este tipo de experimentación, decidieron estudiar el comportamiento del viento y su energía a través de los parámetros de Weibull, para expresarlo matemáticamente, por lo que Salam, encontró que la velocidad del viento fluctuaba entre los 3 a 5 m/s, mientras que Soulouknga halló 3.75 m/s, finalmente AlQdah determinó que el viento daba un recorrido de 2.9 a 3,5 m/s. siendo factores relevantes en cuanto al estudio de potencial eólico, por lo que las tres investigaciones hallaron una generación eléctrica de 343,31 W/m² y 249,87 kWh/m²; 343,3 W/m² y 249,9 kWh/m²; y por último 8648 kWh/año respectivamente. Demostrando que los desiertos son una fuente importante de viento.

Adem y Hüner (2022); Düzcan y Kara (2021). Realizaron diversos estudios de caso en el país de Turquía, donde se encargaron de explicar la eficiencia del potencial eólico. El primer estudio se aplicó en la Universidad de Kirklareli – Kayali, donde se empleó metodología estadística de distribución, con un modelo matemático Rayleigh MLE, el cual explicaba la variabilidad del viento. Mientras que el estudio de Düzcan obtuvo datos a través de la institución meteorológica de Turquía y se analizó a través de la ley de potencia de viento y con un Software denominado

Windsim, donde se aplicó metodología de mecánica de Fluidos. Además, obtuvo una velocidad de viento que fluctúa los 3 a 6 m/s y un potencial de 7.270 GWh, por el contrario, Düzcan varía desde los 9.5 hasta los 10.7 m/s, y logrando una energía de 60. 2 GWh/a. Siendo Turquía un lugar que puede demostrar la eficiencia de su aprovechamiento eólico.

Li y Wu (2016); Maradin, Cerović y Šegota (2021). Investigaron sobre la eficiencia de las plantas eólicas en Europa y China, para este estudio se tuvo como población a las diferentes compañías generadoras de energía eólica de estos países, se estudiaron 78 empresas europeas y 30 empresas del país asiático, a través de muestreo no probabilístico, en la realización del trabajo se requirió la aplicación de análisis de datos gracias a los modelos DEA-Malmquist y BCC, se concluyó que el rendimiento de las empresas de rubro eólico en Europa oscilan entre 3,6% a 10,2% de eficiencia en su generación, y en China en el sector existe dificultades en cuanto a la eficiencia esto se da por la falta de apoyo económico por parte de las autoridades, lo cual es un limitante para implementar tecnología sofisticada y tener un mejor rendimiento en generación de energía eléctrica.

Frank [et al], (2022); Khajah y Philbin (2022). En Nueva York y Kuwait realizaron la evaluación económica y técnica para la generación de energía eléctrica mediante las fuerzas del viento, debido que la demanda de este servicio está en constante crecimiento y las fuentes tradicionales ya no logran abastecer en su totalidad, para lo cual se realizaron estudios de potencial eólico de esos países, y se tomó tres zonas para el modelado utilizando el software RETScreen y para la replicación IPEC se estudiaron cinco áreas de suministro eléctrico mensual, en estos trabajos se obtuvo como resultado que la producción neta de electricidad a la red 894, 801 MWh/año en Nueva York y 214,000 MWh/año en Kuwait, además que son muy rentables en la parte económica.

Escobar [et al], (2020); Castillo (2019). Tuvieron como objeto de estudio identificar el potencial del viento como propuesta para el aprovechamiento de energía limpia, se desarrolló en la población de la Huancavelica y Libertad, estos estudios se realizó exactamente en las localidades de Acobamba, Paucarbamba, Huancavelica y Pampas; también en Moche, Chao y Virú estas zonas fueron elegidas de manera

no probabilístico, se hizo uso de la ficha de anotación y prueba de Wilcoxon, asimismo se usó el método Weibull y seis aerogeneradores, se obtuvo como resultados que la velocidad del viento para los distritos de Huancavelica fue mayor a 2m/s con una estimación de generación de energía de 70 KWh/d con un aerogenerador de potencia baja. En la región de la libertad la velocidad promedio para Moche y Virú fue de 3m/s además generaron 11.308 W/m² y 65.859 W/m² respectivamente, en Chao se tuvo una velocidad de 7.79 m/s con generación de 1523.114 W/m² siendo la más viable.

Gamarra (2019); Tarrillo (2019). Realizaron su investigación en el departamento de Lambayeque sobre la utilización del viento para producir electricidad en el distrito de Reque y Motupe, su población y muestra viene hacer los hogares del centro poblado Siete Techos, el caserío Sandoval y Vallejo, para su estudio aplicaron diversos cálculos, también equipos como aerogenerador, paneles, batería, inversor, conductores, controladores, generador fotovoltaico gracias a ellos se logró obtener los siguientes resultado, la energía generada por día fue de 35,30 KWh y de una demanda poblacional máxima de 10,44 KWh para Siete Techos y 23,72 kWh con una demanda máxima 6,67 kWh para los caserío de Sandoval y Vallejo; concluyendo qué la generación de energía eólica en estas áreas es viable.

Byll (2019); Hurtado y Novoa (2021). En sus estudios de investigación evaluaron el aprovechamiento del potencial eólico para la producción de electricidad, con la finalidad de cambiar positivamente la calidad de vida en las localidades de Llicua Alta en Huánuco y el sector Valle del Sol - Reque; Byll utilizó equipos reales como un aerogenerador, anemómetro, controlador de carga, inversor y una batería, de lo contrario, en el otro estudio su utilizó el software MATLAB y velocidad de viento extraídos de la nasa, utilizaron el instrumento de ficha de recolección de datos, se concluye que para Llicua Alta el mayor potencial eólico es en el horario de la 1pm a 5pm donde se obtuvo un voltaje de 0.2v a 0.4v por hora, asimismo el menor aprovechamiento es en las primeras horas de su muestreo se generó entre 0.0v a 0.1v por hora; mientras que en Valle del Sol existiría una producción de energía entre 0.3v a 0.4v, las dos investigaciones concluyeron que la generación eólica mejoraría la calidad de vida de los pobladores.

A continuación, se muestra las bases teóricas que sirvió para dar sustento a nuestra investigación, para lo cual se define los siguientes términos:

El recurso eólico, el viento desde tiempos atrás se ha venido utilizando en la producción de energía eólica, esto resulta por el desplazamiento del aire, a través de la variación del calor en la tierra, estos cambios de circulación genera que exista áreas más cálidas, originando desplazamiento de transferencia de calor en la atmósfera, lo cual el aire cálido sube, transportando con él un aire frío que procede de una zona adjunta, este al subir baja su temperatura por lo tanto crece la densidad, luego desciende para rehacer el ciclo, debido a ello se dice que viento es una masa de aire en actividad, lo cual comprende un proporción de energía cinética, también se dice que es la transferencia de calor y la expansión del aire producida por la absorción de la energía del sol nos da como resultado el viento (Mur, 2003, p. 3).

Utilización del viento, gracias a la potencia resplandeciente del sol se forma la energía del viento, esta es absorbida por el suelo transformándose en energía térmica, existe una disminución de energía en los pasos de transformación, dando como resultado que el 25% de la totalidad de energía captada se transforma en viento, además solo el 56% energía del viento se puede extraer según el postulado de Betz (Byll, 2019, p. 34).

Velocidad del viento, la estabilidad del viento es discontinuo y casual, tienen relación directa con las presiones y su actividad está relacionado con la rotación del planeta, la rapidez del viento cambia de modo aleatorio en sentido, dirección y módulo, ya que es una magnitud vectorial, las velocidades promedias están en el rango de 3 y 7 m/s, lo cual la topografía y altitud son los factores determinantes de que estos datos sean mayores o menores (Mur, 2003, p. 4).

Repartición de direcciones, la particularidad de direcciones del viento tiene una función importante para la colocación de un generador eólico en una zona, donde se identifica la inestabilidad direccional de los vientos, a cuál el sistema guía del aerogenerador debe responder para captar la energía cinética (Atlas Eólico del Perú, 2016, p. 30).

Potencial Eólico, es la velocidad con la que fluye el viento de un área de alta presión a la inversa, lo cual hace que sea aprovechable para generar energía eléctrica, también se dice que son las zonas preferentes para la futura exploración in situ y que serían de interés para la instalación de aerogeneradores o parques eólicos (Atlas Eólico del Perú, 2016, p. 31).

Rugosidad, factor sobresaliente, ya que se puede utilizar para cuantificar el suceso morfológico de la demarcación que circula el aerogenerador con relación a la velocidad del viento (Mur, 2003, p. 6).

Tabla 1. Coeficiente de rugosidad según Hellmann

Tipo de Terreno	Valor del Exponente
Espacios llanos con hierba o hielo	$\alpha = 0,08 - 0,12$
Espacios llanos (costa y mar)	$\alpha = 0,14$
Superficie poco accidentado	$\alpha = 0,13 - 0,16$
Espacios rústicos	$\alpha = 0,2$
Superficies accidentados o bosques	$\alpha = 0,2 - 0,26$
Superficies muy accidentados y ciudades	$\alpha = 0,25 - 0,4$

Fuente: Fernández (2002)

Ley de Hellmann, la rapidez del viento cambia en relación a la altura, se plantea la ecuación estadística que sirve para extrapolar una velocidad conocida en una determinada altura a una de mayor dimensión, para hacer estudios a gran escala (Fernández, 2002, p.12).

$$V_h = V_0(h/h_0)^\alpha$$

Donde:

V_h: Velocidad del viento a altura h

V₀: Velocidad del viento conocida

h: Altura a extrapolar

h₀: Altura conocida

α : Coeficiente de Rugosidad

Distribución de Weibull, es un método estadístico que estudia la distribución de probabilidades de frecuencia de la velocidad del viento en un lugar y un tiempo determinado, es fundamental para identificar el potencial eólico útil, también estima otros indicadores energéticos de importancia, su forma general es la siguiente (Atlas Eólico del Perú, 2016, p. 34).

$$P(U) = \left(\frac{k}{c}\right) \cdot \left(\frac{U}{c}\right)^{k-1} \cdot \exp\left[-\left(\frac{U}{c}\right)^k\right]$$

Donde:

P(U): Probabilidad que suceda una velocidad U

U: Velocidad promedio

C: Factor escala (unidad de velocidad)

K: Factor de forma (adimensional)

Fórmula para calcular el parámetro C:

$$C = \frac{U}{e^{r(1+\frac{1}{k})}}$$



Figura 1. Distribución de Weibull

Fuente: Eraso [et al], (2017)

La energía eólica, es adquirida gracias a la cinética del viento, generada por la diferencia de grados de temperaturas en diferentes zonas territoriales, que hace que entren en marcha las palas del aerogenerador, haciendo que circule la turbina dando como resultado la energía eléctrica; el espacio donde se desarrolla este sistema tiene como nombre parque eólico conformado por un conjunto de generadores eólicos instaladas al suministro eléctrico (Osinergmin, 2019, p. 26).

Generador horizontal, contienen un punto de giro que está paralelo al suelo, son tecnologías que han contribuido, ya sea por su estabilidad, nivel de creatividad y suficiencia al ajustarse a distintas potencias, los aerogeneradores contienen un eje principal que se encuentra a lado superior de la torre, su función es afrontar el potencial de viento directamente, por otra parte los aerogeneradores de menor potencia se orientan a través de una veleta, y los de mayor potencia por un detector de orientación a través de los servomotores. Conociendo la ligereza de revolución de las aspas es baja y en su mayor proceso requiere una caja reductora para levantar aquella velocidad (González, 2015, p. 23).

Demanda de potencia, es la cantidad requerida de potencia para un medio de carga promedio o instalación y terminales receptoras en un intervalo de tiempo destinado, su capacidad se expresa en kVA, kVAr, kW. También se dice que es la proporción de energía consumida en un tiempo dado, así mismo los valores más utilizados en el intervalo de demanda son sesenta, treinta y quince minutos esto se hace para que se tenga datos almacenados (Gallo, 2020, p. 5).

Está relacionada a variaciones que requiere de múltiples factores de conducta social, eficacia de los clientes, situación de las conexiones eléctricas y variables climatológicas. Conocemos que la demanda de potencia eólica es más durante el día y al transcurrir la noche debido al funcionamiento de las industrias, los focos se encuentran prendidos y las personas están ejerciendo su trabajo en oficinas o en sus hogares, sin embargo, la demanda es mucho menor cuando las personas están descansando (Gallo, 2020, p. 5)

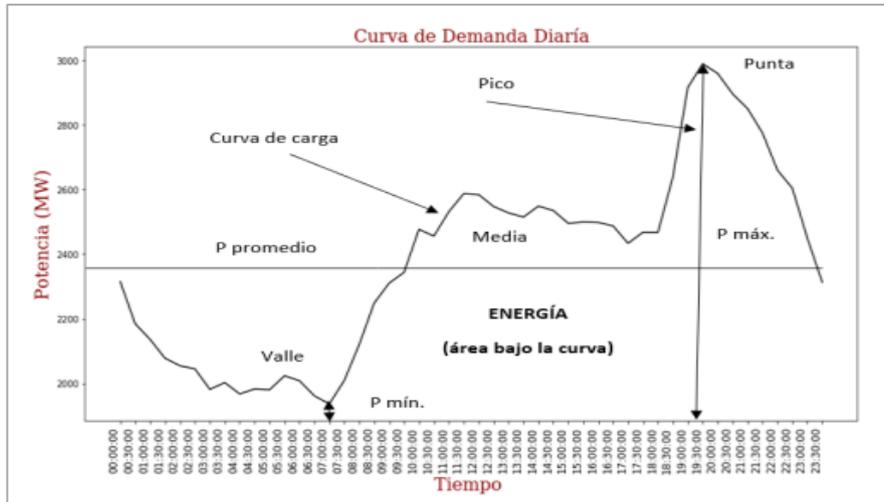


Figura 2. Curva de demanda

Fuente: Gallo (2020)

Potencia Aprovechable, respecto al postulado de la conservación de la masa, se afirma que no toda la potencia del viento es captada en su totalidad, para lo cual no solo influye por las características del viento, también propiedades del equipo, considerando la eficiencia que tiene el aerogenerador y pérdidas mecánicas (Mur, 2003, p. 9).

$$P_d = C_p \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot V^3$$

Donde:

Pd: Potencia disponible

ρ : Densidad del viento

A: Área expuesto al viento

V: velocidad del viento

Cp: Coeficiente de potencia

Fórmula de la energía total:

$$ET = Potencia \times Tiempo$$

Para convertir de Wh a KWh:

$$KWh = Wh/1000$$

En la investigación también se mencionó las siguientes definiciones conceptuales:

Aerogenerador, esta mesurado por un motor y un generador eléctrico, así mismo las máquinas de eje horizontal se acondicionarán a una configuración rotaria que tenga un sistema con sentido en dirección al viento y con una torre como sostén. (Hulshorst, 2019, p. 4).

Rotor: son las palas con formas adecuadas, con estructuras aerodinámicas, son fabricados con fibra de vidrio, madera o plástico reforzado; la producción de energía está relacionada por el diámetro del rotor (Hulshorst, 2019, p. 6).

Generador, es la máquina que transforma en fluido eléctrico la energía mecánica de rotación de las palas del generador eólico (Hulshorst, 2019, p. 6).

Torre, es un componente del sistema eólico que se sirve de soporte de la turbina, estas tienen que soportar vientos elevados, rayos y granizadas. asimismo, como los vientos no son muy fuertes e aumenta la velocidad depende de la altura que lo separe del suelo (Hulshorst, 2019, p. 7).

Controlador de aerogenerador, es un equipo que sirve identificar de forma automática la potencia establecida del aerogenerador, ya que posee un chip procesador inteligente que cumple muchas funciones de protección (OMEGA, 2022, párr. 2).

Controlador de carga, este instrumento ayuda a la limitación de la rapidez del viento por la cual la electricidad se le une o la extrae de baterías, dicho instrumento evita el exceso de carga y cuida el exceso de tensión (Diccionario de la lengua española).

Anemómetro, es un instrumento utilizado para medir la velocidad de un gas en un flujo cerrado como el flujo de aire en un conducto (OMEGA, 2022, párr. 1).

La batería, Su finalidad es almacenar energía eléctrica a través de un proceso electroquímico, se puede decir que una batería es una celda o acumulador electroquímico, utilizado como generador secundario (Diccionario de la lengua española).

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

Tipo de investigación:

La investigación fue de tipo cuantitativo, porque se realizó la recopilación de datos de las pruebas de campo basados en mediciones numéricas y luego ser analizados mediante métodos estadísticos, con la finalidad de probar nuestra hipótesis de investigación (Hernández, Fernández y Baptista, 2017, p. 154).

También fue aplicada, porque para dar una solución de la problemática social se utilizaron los conocimientos y el empleo de la tecnología necesaria (Lozada, 2014, párr. 1).

En la investigación consistió en convertir el conocimiento teórico de energía eólica, en aplicación de un aerogenerador para producir energía eléctrica, además se monitoreó el comportamiento del potencial eólico con un anemómetro en Pampas de Reque.

Diseño de investigación:

El diseño de la investigación fue experimental de enfoque cuasi experimental, porque en nuestra investigación se empleó deliberadamente como mínimo una variable independiente para ver el efecto que tiene en la variable dependiente. Además, los grupos que fueron estudiados se conformaron antes del experimento y no son elegidos al azar. (Hernández, Fernández y Baptista, 2017, p. 155).

3.2. Variables y operacionalización

X1. Variable Independiente: Potencial eólico.

Y1. Variable Dependiente: Generación de energía eléctrica.

La tabla de operaciones (ver Anexo 1).

3.3. Población, muestra y muestreo

Población: Es el potencial eólico en Pampas de Reque, identificado por los estudios previos de Atlas Eólico del Perú 2016.

Muestra: Son cuatro puntos que forman un rectángulo de largo 200 metros y de ancho 100 metros, elegidos por juicio propio de los investigadores.

Muestreo: El tipo de muestreo es no probabilístico, porque la elección de la muestra no se aplicó fórmulas de probabilidad, sino de criterios que cumplieron para la realización de nuestra investigación; lo cual se consideró la rugosidad, altitud y referencias de estudios previos. (Hernández, Fernández y Baptista, 2017, p. 189).

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnicas: Es el medio empleado para poder recolectar los datos de la muestra. (Arias, 2020, p. 9)

En el estudio se hizo uso de la observación, para registrar el comportamiento del potencial eólico y la producción de energía eléctrica en cada punto.

Instrumentos: Son las herramientas fundamentales que se utiliza poder registrar la data de la muestra. (Arias, 2020, p. 10)

En la investigación se aplicó el instrumento ficha de recolección de datos para poder anotar la data necesaria de potencial eólico a través del anemómetro y de la generación de energía eléctrica con el controlador de carga.

3.5. Procedimientos

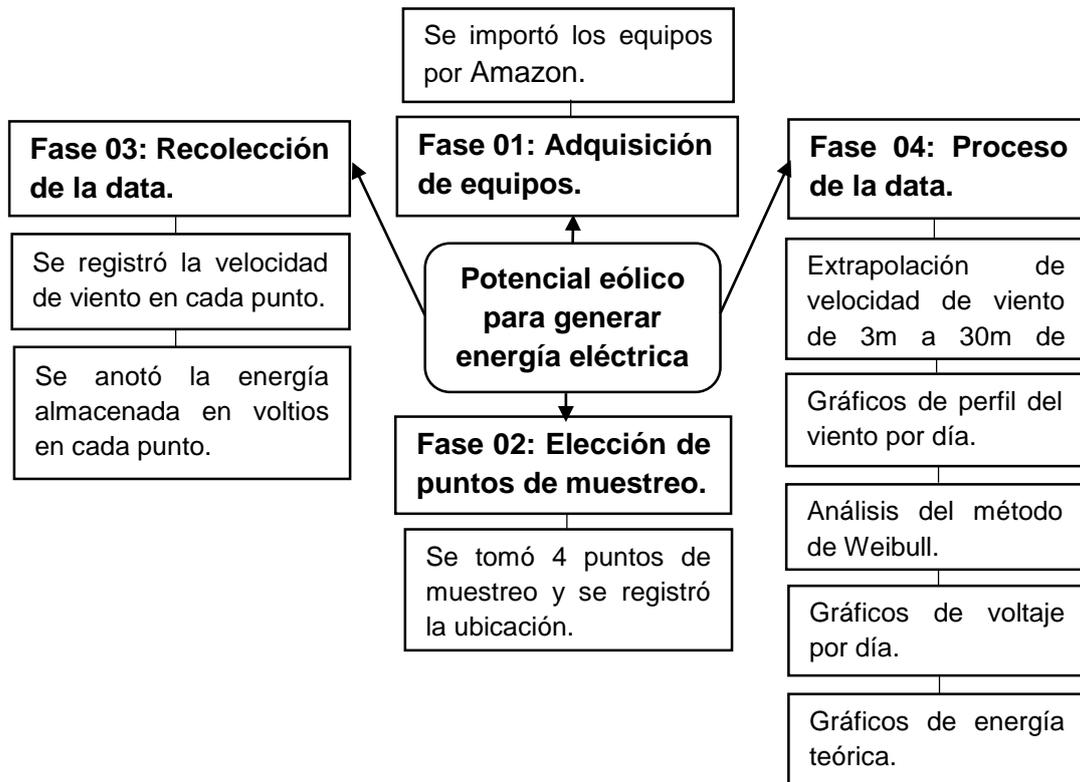


Figura 3. Procedimiento

Fuente: Elaboración propia

Descripción:

Fase 01: Adquisición de equipos.

Para la recolección de la data se utilizó un aerogenerador, controlador de aerogenerador, controlador de carga, anemómetro y batería, los cuales fueron importados mediante la empresa virtual Amazon.

Fase 02: Elección de puntos de muestreo.

Se tomó cuatro puntos formando un rectángulo de largo 200 metros y de ancho 100 metros, lo cual se registró su ubicación de cada punto; fueron elegidos por juicio propio, se consideró los siguientes criterios como la rugosidad, altitud y estudios previos de Atlas Eólico del Perú 2016.

Fase 03: Recolección de la data.

En cada punto, durante 5 días de lunes a viernes, por un intervalo de tiempo de 10-18 horas, se registró por cada hora, con el instrumento de ficha de recolección de datos, se anotó las velocidades del viento gracias al anemómetro y la energía almacenada con el controlador de carga, finalmente la energía adquirida gracias al aerogenerador durante el día fue consumida con actividades básicas en la noche.

Fase 04: Proceso de la data.

Es la fase final de la investigación que consistió en procesar la data obtenida durante 20 días de recolección de datos entre los cuatro puntos, con la ayuda del software estadístico Excel se obtuvo:

Extrapolación de la velocidad de viento de 3m a 30m de altura, donde se aplicó la fórmula de la Ley de Hellmann, lo cual requiere datos de velocidad de 3m de altura del total de días de muestreo y el coeficiente de rugosidad se consideró un 0.14 lo que corresponde a espacios llanos (costa y mar).

Gráfico de perfil del viento por día en cada punto, lo cual muestra el comportamiento del potencial eólico durante el intervalo tiempo de 10-18 horas de muestreo, esto depende de las condiciones climáticas y la altura en m.s.n.m. de los puntos

Gráficos de análisis de Weibull, gracias a sus fórmulas estadísticas expresa la mayor probabilidad de frecuencia de velocidad de viento y el potencial eólico en W/m^2 por área expuesta al viento, en el intervalo de tiempo 10-18 horas, a una altura de 3 y 30 metros, el método se aplicó con el total de la data de velocidad del viento de los cuatro puntos (Atlas Eólico del Perú, 2016, p. 34).

Gráficos de voltaje por día en cada punto, donde nos presenta el comportamiento de la generación de energía durante el intervalo de tiempo de 10-18 horas de muestreo, lo cual depende de la velocidad del viento y de la eficiencia de los equipos utilizados.

Gráficos de energía teórica, gracias a la aplicación de la fórmula de potencia aprovechable, lo cual se requirió datos de aerogenerador de radio de rotor: 0.55m, con altura de torre:3m, también, con un radio de rotor: 10m, con altura de torre:30m y una densidad del aire de $1,225 \text{ kg/m}^3$, se obtiene gráficos de energía teórica en Wh y KWh, los cálculos se aplicaron con el total de la data de velocidad del viento de los cuatro puntos.

3.6. Método de análisis de datos

Presentación de datos: En la investigación para recopilación de la data se procedió a emplear la ficha de recolección de datos, para registrar la velocidad del viento y la energía almacenada en cada punto de muestreo.

Análisis de proceso de datos: Luego de terminar la fase de recolección de datos, se realizaron trabajos de gabinete en los cuales se elaboraron tablas por cada punto por día para una mejor presentación de la información, luego se utilizó el software estadístico Excel, donde se procesó la data, obteniendo gráficos que se fueron interpretados por la estadística descriptiva.

Técnicas para el proceso y análisis de información: El programa Excel nos brindó los siguientes resultados: Gráficos de perfil del viento, gráficos de método de Weibull, gráficos de voltaje, gráficos de energía teórica, luego fueron analizados mediante estadísticos de interpretación.

3.7. Aspectos éticos

La información utilizada en la investigación respeta la autoría, con el empleo de citas parafraseadas, inicialmente mediante el registro de información de varios investigadores donde se identificó el contexto que se asemeja a la problemática. Por otro lado, se asegura que los resultados que se obtuvo en la investigación son fidedignos, debido que se realizó un procedimiento real para obtener los datos.

IV. RESULTADOS

Los resultados del aprovechamiento del potencial eólico para la generación de energía eléctrica, se obtuvo de Pampas de Reque, como la adquisición de los datos de la velocidad de viento y la energía almacenada en 4 puntos durante 5 días en cada uno.

Tabla 2. *Ubicación de los puntos de muestreo*

N° Punto	Coordenadas UTM (WGS-84)		Altitud (m.s.n.m.)
	Este	Norte	
P1	633963	9237341	63
P2	634016	9237425	66
P3	634133	9237235	65
P4	634186	9237318	68

Fuente: Elaboración propia

El punto de muestreo N°01, se encuentra ubicado en las coordenadas UTM (WGS-84): 633963 – 9237341, a una altitud de 63 m.s.n.m., la recolección de datos se realizó desde 12/09/2022 – 16/09/2022, en el horario de 10 a 18 horas.

El punto de muestreo N°02, se encuentra ubicado en las coordenadas UTM (WGS-84): 634016 – 9237425, a una altitud de 66 m.s.n.m., la recolección de datos se realizó desde 19/09/2022 – 23/09/2022, en el horario de 10 a 18 horas.

El punto de muestreo N°03, se encuentra ubicado en las coordenadas UTM (WGS-84): 634133 – 9237235, a una altitud de 65 m.s.n.m., la recolección de datos se realizó desde 26/09/2022 – 30/09/2022, en el horario de 10 a 18 horas.

El punto de muestreo N°04, se encuentra ubicado en las coordenadas UTM (WGS-84): 634186 – 9237318, a una altitud de 68 m.s.n.m., la recolección de datos se realizó desde 03/10/2022 – 07/10/2022, en el horario de 10 a 18 horas.

Identificar el potencial eólico para la generación de energía eléctrica:

- Perfil de la velocidad del viento en el Punto N° 01 (3m altura):

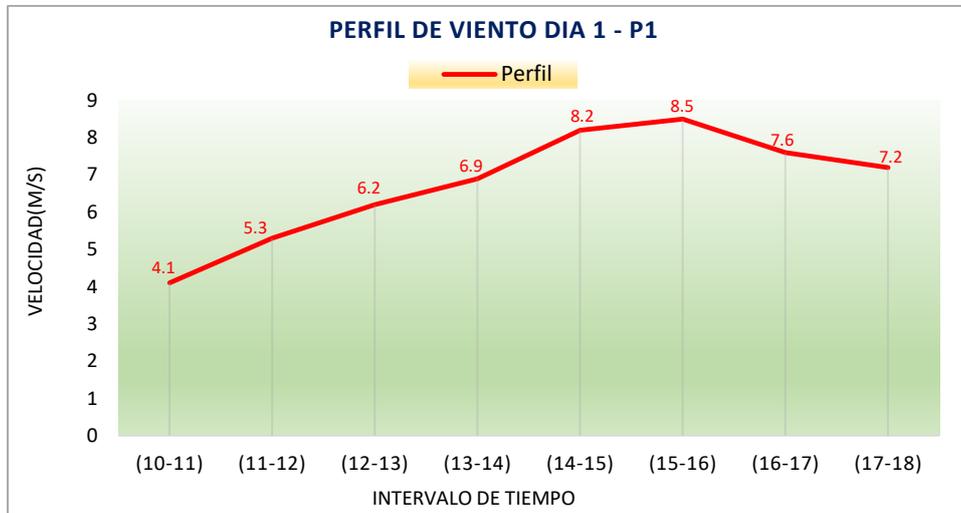


Figura 4. Perfil de la velocidad del viento día 1-P1

Fuente: Elaboración propia

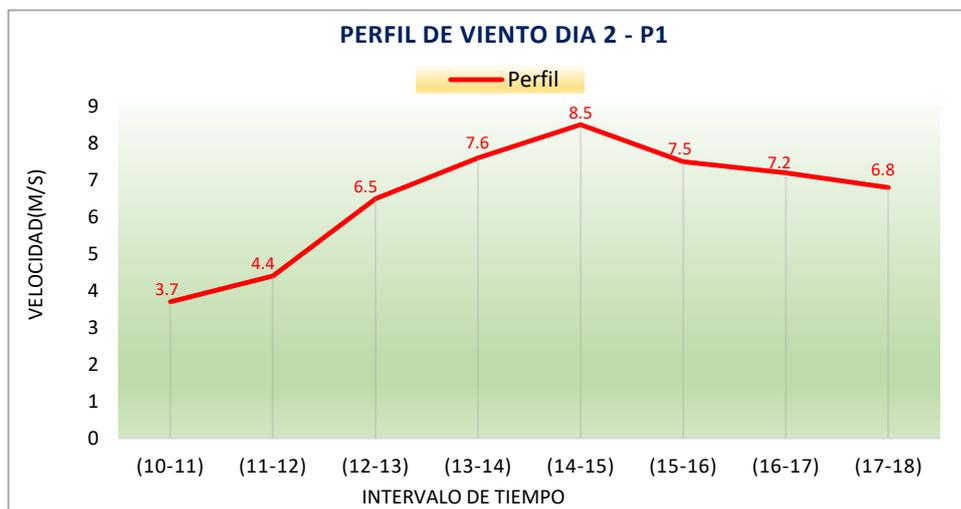


Figura 5. Perfil de la velocidad del viento día 2-P1

Fuente: Elaboración propia

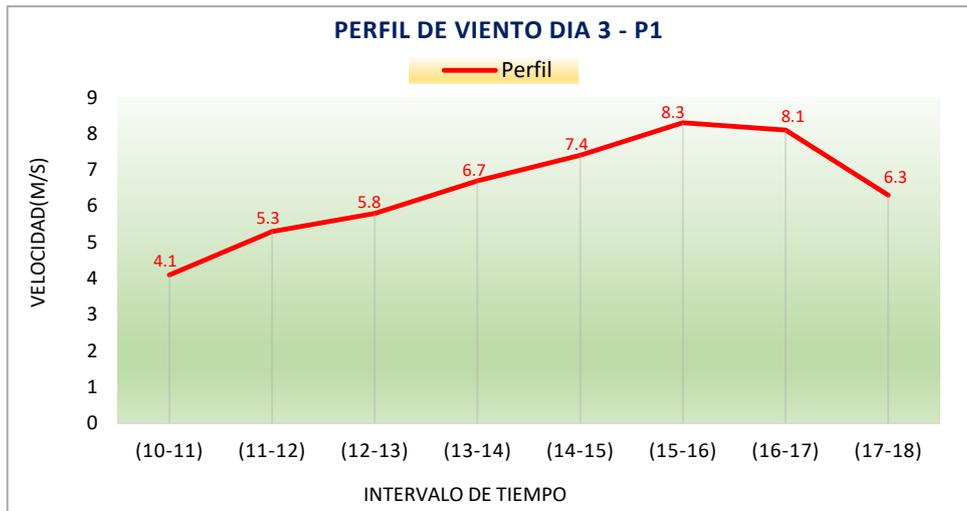


Figura 6. Perfil de la velocidad del viento día 3-P1

Fuente: Elaboración propia



Figura 7. Perfil de la velocidad del viento día 4-P1

Fuente: Elaboración propia



Figura 8. Perfil de la velocidad del viento día 5-P1

Fuente: Elaboración propia

De los cinco días de muestreo en el punto N° 01, entre las primeras horas existe vientos lentos, en el intervalo (14-16) horas los vientos son los más rápidos dependiendo de las condiciones climáticas de cada día, desde las 15 o 16 horas inicia el declive de la velocidad, el mayor potencial está a partir de las 12 o 13 horas.

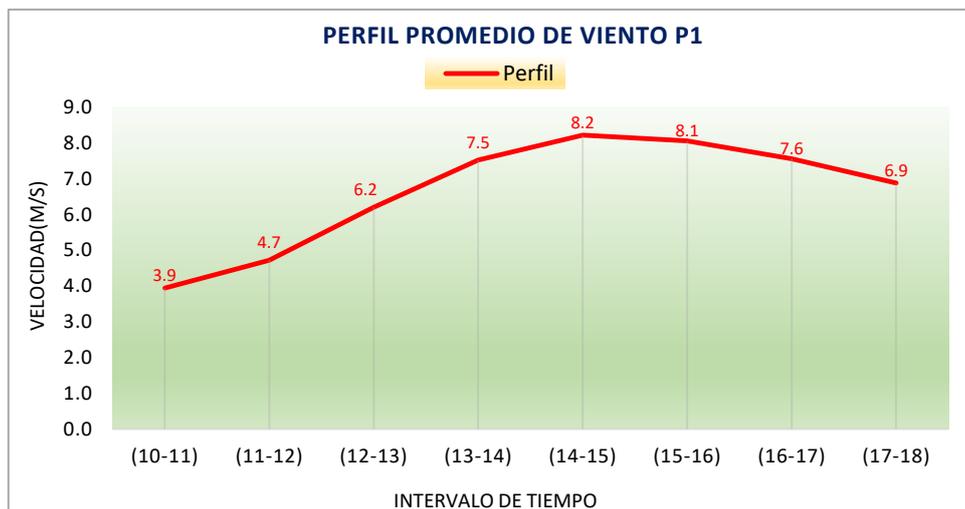


Figura 9. Perfil promedio de la velocidad del viento punto 1

Fuente: Elaboración propia

En la figura 8, en el punto de muestreo N°1 se promedió las velocidades de viento por cada intervalo de tiempo del total de los días, se inició con una velocidad de viento promedio de 3.9m/s, el viento más rápido está en el intervalo de (14-15) horas a una velocidad de 8.2m/s, a partir de 15 horas empieza el declive de la velocidad, el mayor potencial está entre las (12-18) horas.

- **Perfil de la velocidad del viento en el Punto N° 02 (3m altura):**

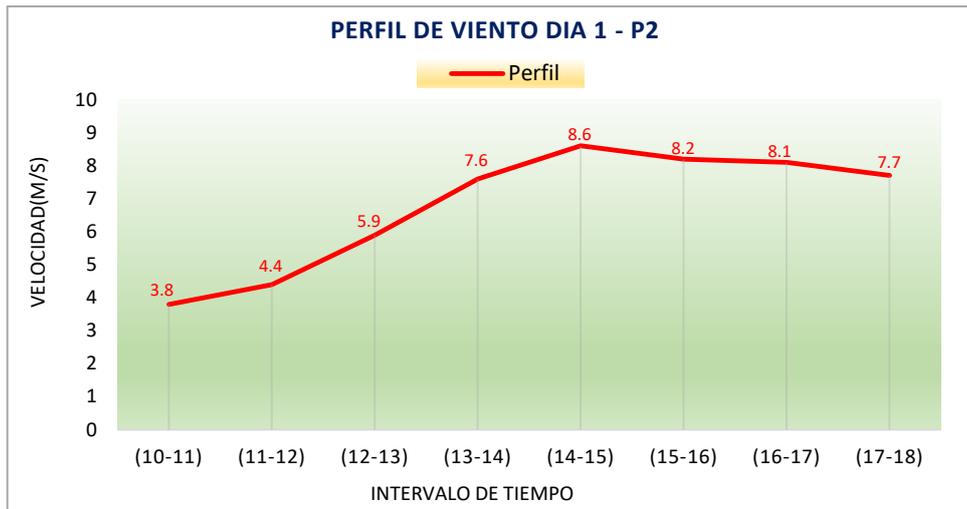


Figura 10. Perfil de la velocidad del viento día 1-P2

Fuente: Elaboración propia

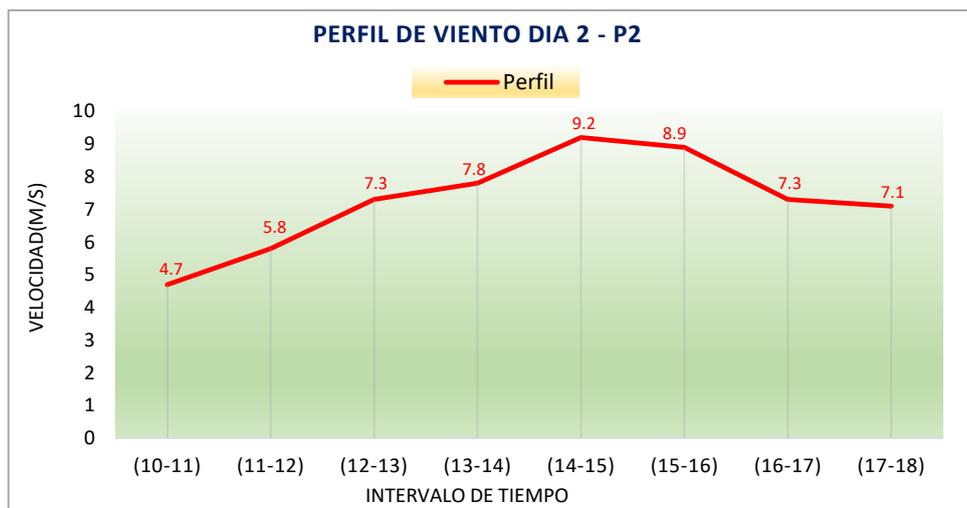


Figura 11. Perfil de la velocidad del viento día 2-P2

Fuente: Elaboración propia

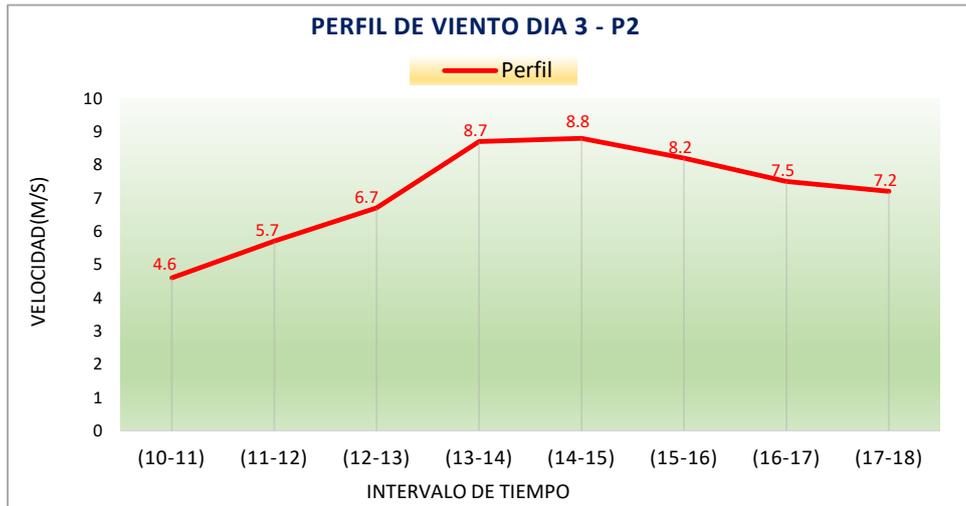


Figura 12. Perfil de la velocidad del viento día 3-P2

Fuente: Elaboración propia

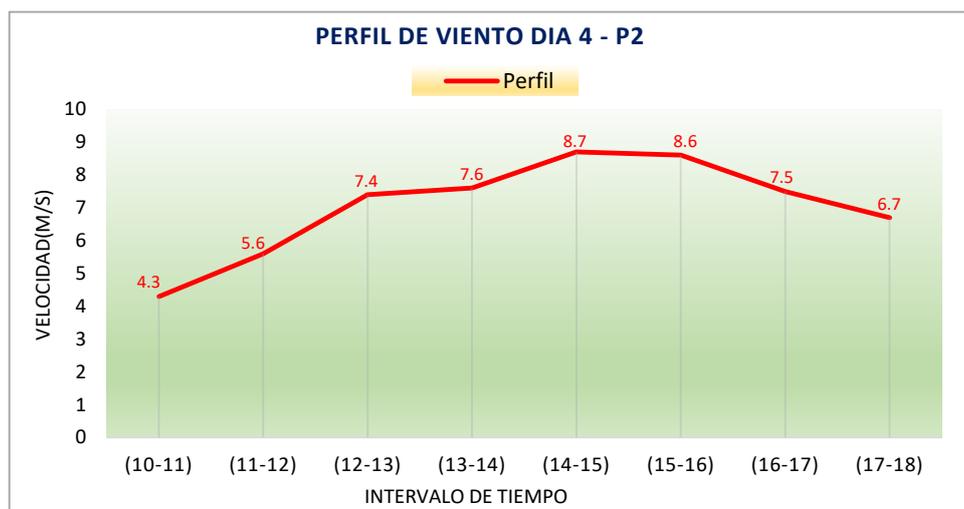


Figura 13. Perfil de la velocidad del viento día 4-P2

Fuente: Elaboración propia

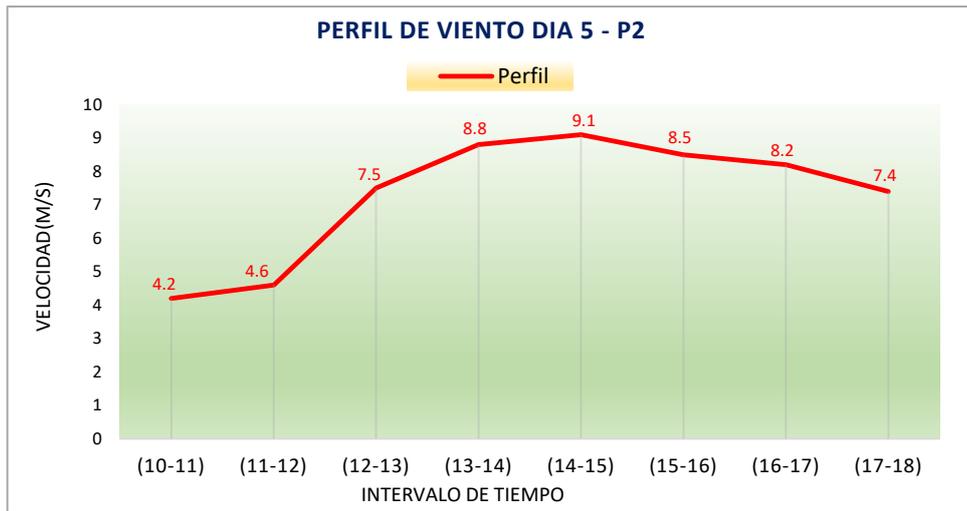


Figura 14. Perfil de la velocidad del viento día 5-P2

Fuente: Elaboración propia

De los cinco días de muestreo en el punto N° 02, entre las primeras horas existe vientos lentos, en el intervalo de (14-15) horas los vientos son los más rápidos dependiendo de las condiciones climáticas de cada día, desde las 15 horas inicia el declive de la velocidad, el mayor potencial está a partir de las 12 o 13 horas.



Figura 15. Perfil promedio de la velocidad del viento punto 2

Fuente: Elaboración propia

En la figura 14, en el punto de muestreo N°2 se promedió las velocidades de viento por cada intervalo de tiempo del total de los días, se inició con una velocidad de viento promedio de 4.3m/s, el viento más rápido está en el intervalo de (14-15) horas a una velocidad de 8.8m/s, a partir de este rango empieza el declive de la rapidez, el mayor potencial está entre las (12-18) horas.

- **Perfil de la velocidad del viento en el Punto N° 03 (3m altura):**

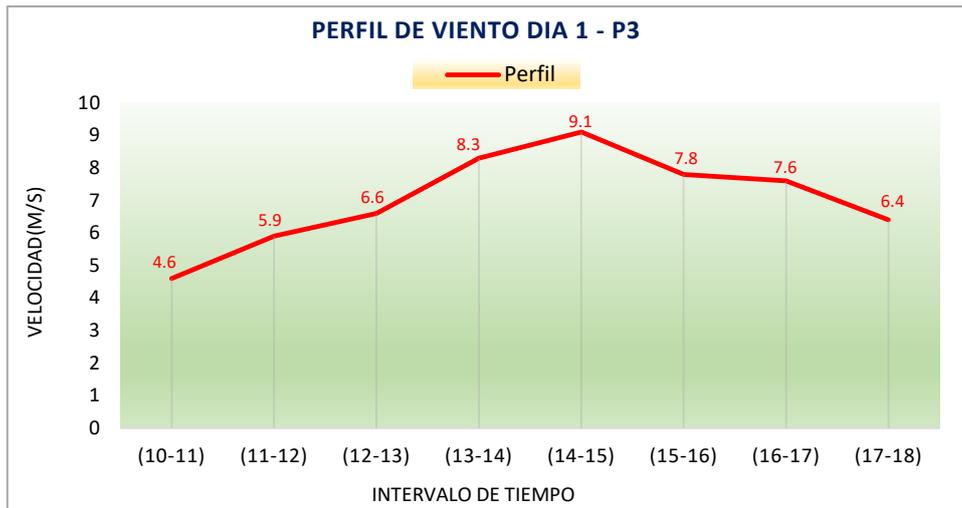


Figura 16. Perfil de la velocidad del viento día 1-P3

Fuente: Elaboración propia

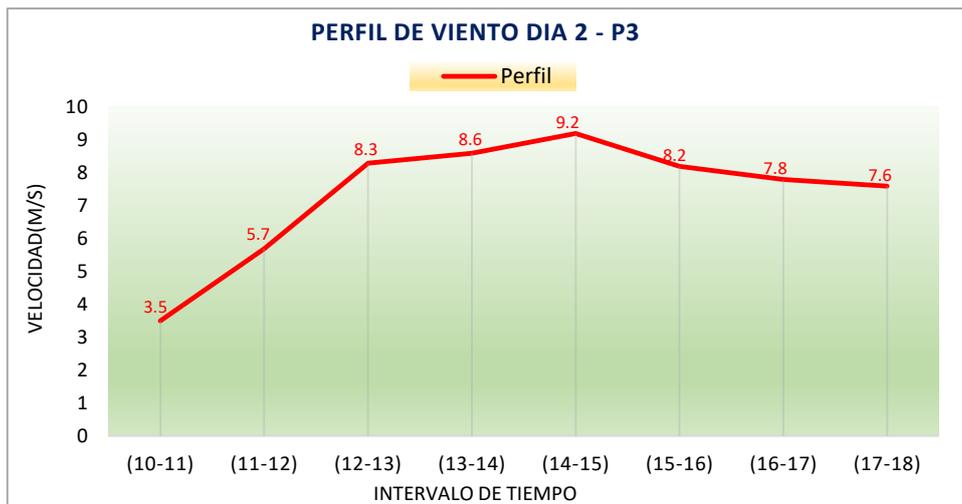


Figura 17. Perfil de la velocidad del viento día 2-P3

Fuente: Elaboración propia

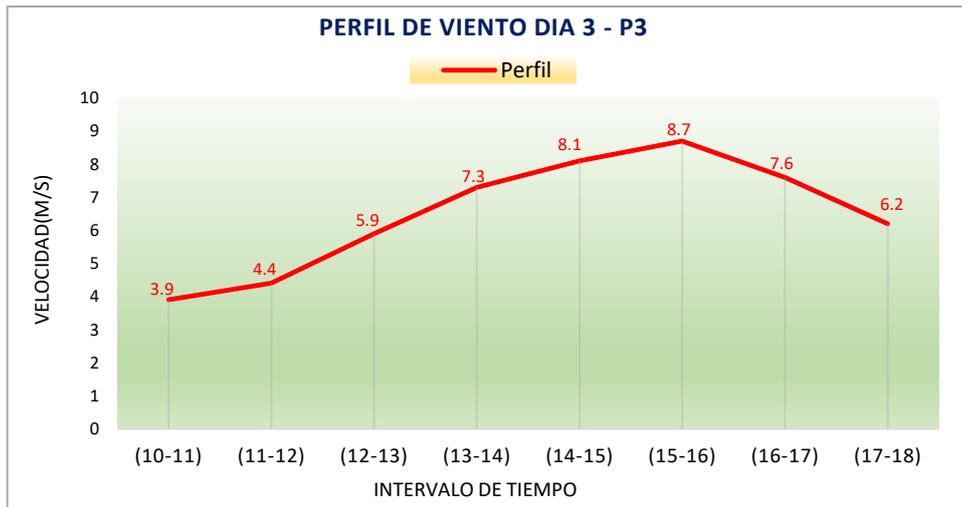


Figura 18. Perfil de la velocidad del viento día 3-P3

Fuente: Elaboración propia

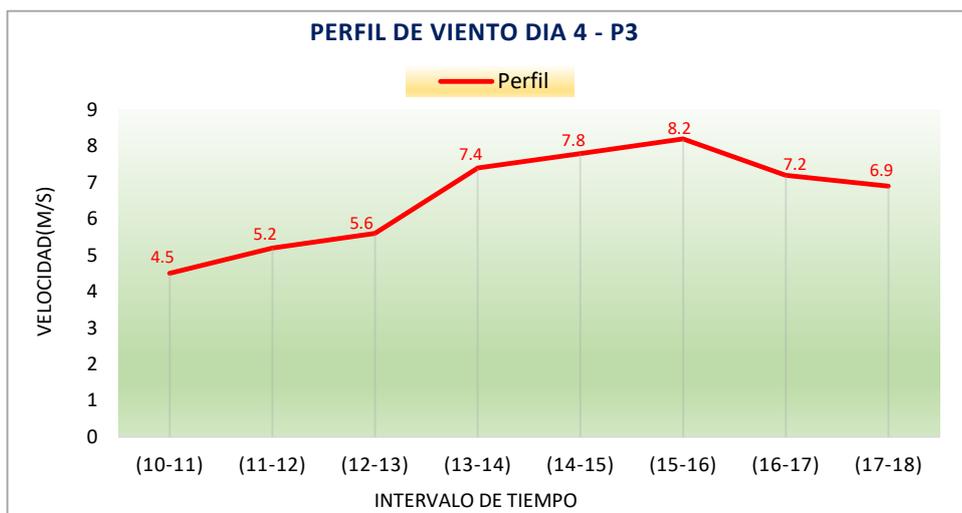


Figura 19. Perfil de la velocidad del viento día 4-P3

Fuente: Elaboración propia

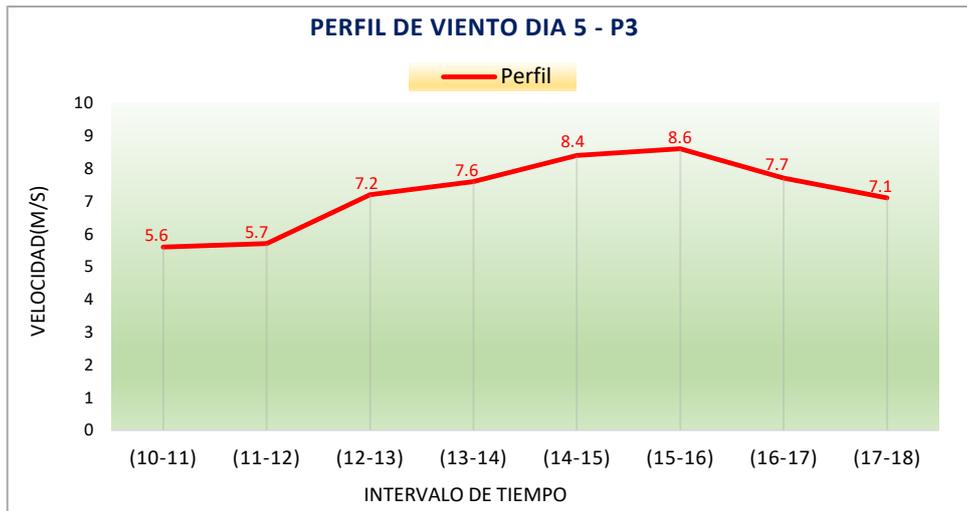


Figura 20. Perfil de la velocidad del viento día 5-P3

Fuente: Elaboración propia

De los cinco días de muestreo en el punto N° 03, entre las primeras horas existe vientos lentos, en el intervalo de (14-16) horas los vientos son los más rápidos dependiendo de las condiciones climáticas de cada día, desde las 15 o 16 horas inicia el declive de la velocidad, el mayor potencial está a partir de las 12 o 13 horas.

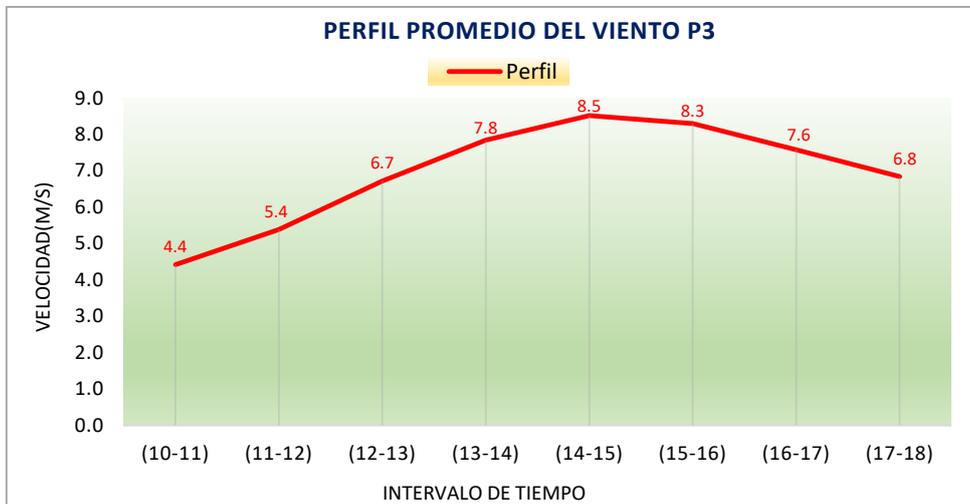


Figura 21. Perfil promedio de la velocidad del viento punto 3

Fuente: Elaboración propia

En la figura 20, en el punto de muestreo N°3 se promedió las velocidades de viento por cada intervalo de tiempo del total de los días, se inició con una celeridad de viento promedio de 4.4m/s, el viento más rápido está en el intervalo de (14-15) horas a una velocidad de 8.5m/s, a partir de este rango empieza el declive de la rapidez, el mayor potencial está entre las (12-18) horas.

- **Perfil de la velocidad del viento en el Punto N° 04 (3m altura):**

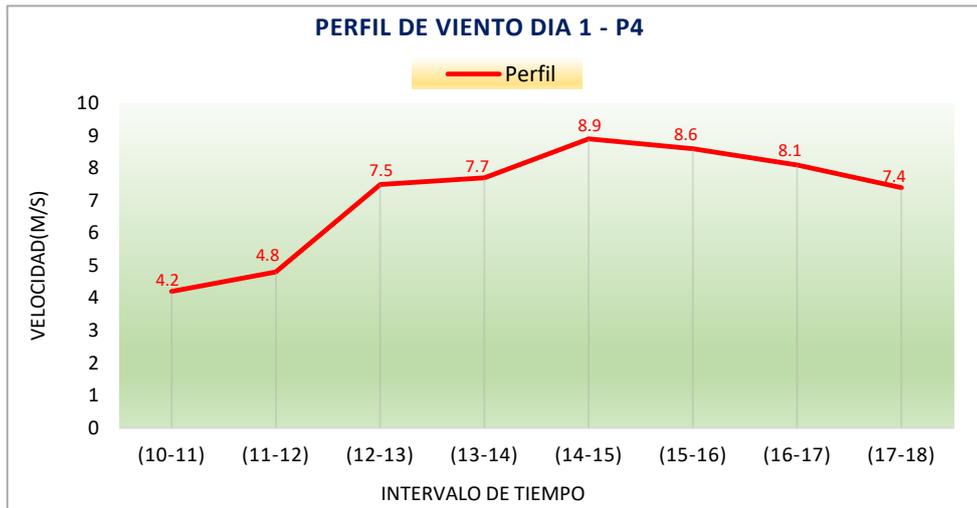


Figura 22. Perfil de la velocidad del viento día 1-P4

Fuente: Elaboración propia

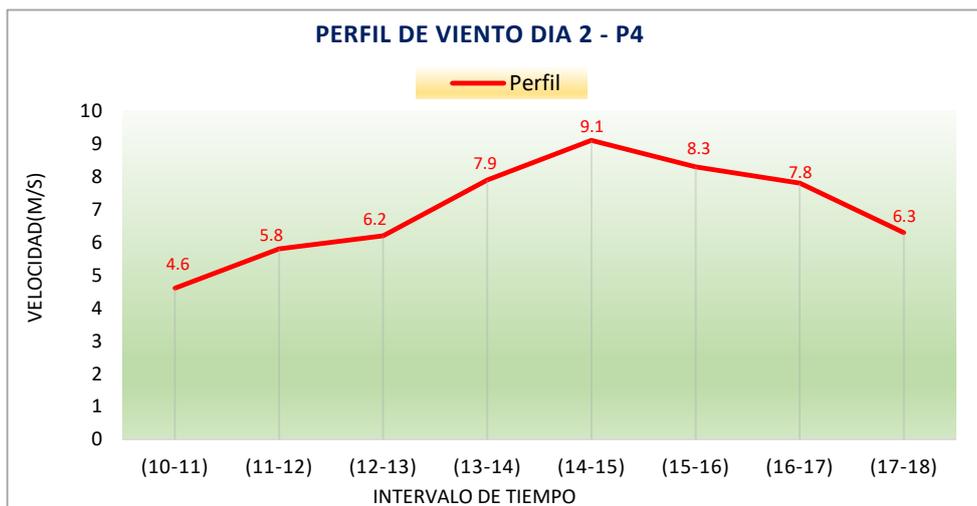


Figura 23. Perfil de la velocidad del viento día 2-P4

Fuente: Elaboración propia

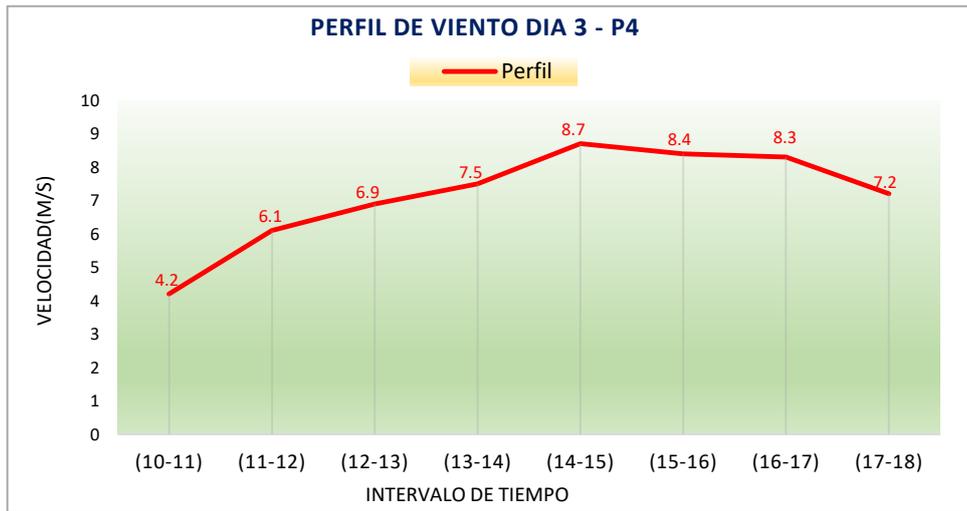


Figura 24. Perfil de la velocidad del viento día 3-P4

Fuente: Elaboración propia

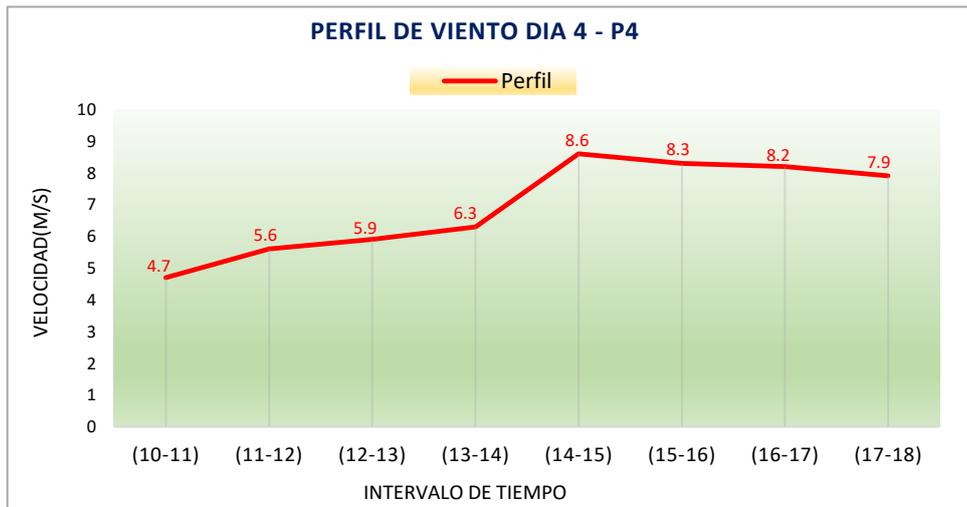


Figura 25. Perfil de la velocidad del viento día 4-P4

Fuente: Elaboración propia

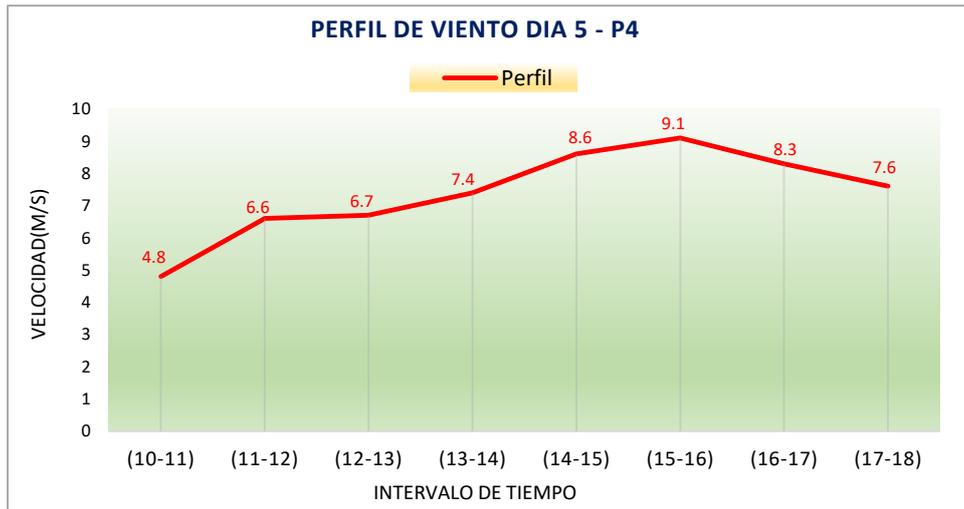


Figura 26. Perfil de la velocidad del viento día 5-P4

Fuente: Elaboración propia

De los cinco días de muestreo en el punto N° 04, entre las primeras horas existe vientos lentos, en el intervalo de (14-16) horas los vientos son los más rápidos dependiendo de las condiciones climáticas de cada día, desde las 15 o 16 horas inicia el declive de la velocidad, el mayor potencial está a partir de las 11, 12 o 13 horas.

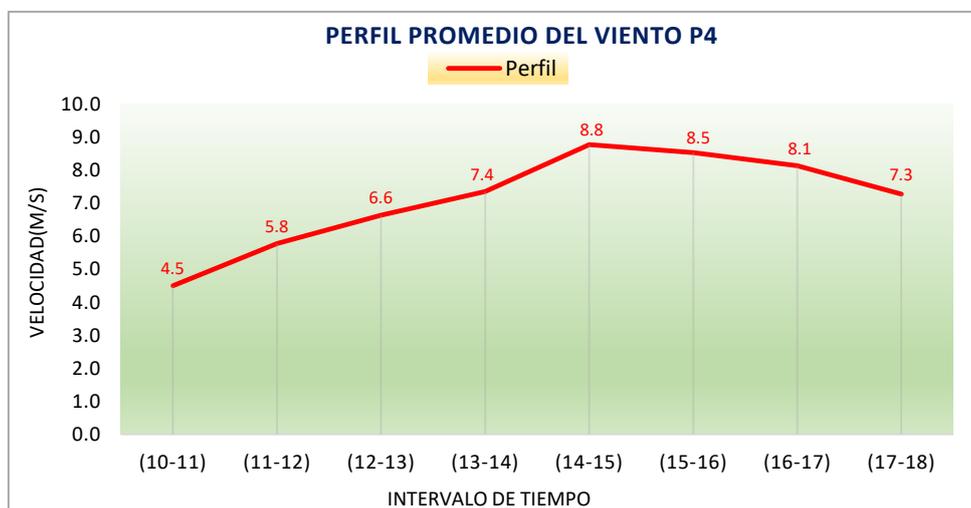


Figura 27. Perfil promedio de la velocidad del viento punto 4

Fuente: Elaboración propia

En la figura 26, en el punto de muestreo N°4 se promedió las velocidades de viento por cada intervalo de tiempo del total de los días, se inició con una celeridad de viento promedio de 4.5m/s, el viento más rápido está en el intervalo de (14-15) horas a una velocidad de 8.8m/s, a partir de este rango empieza el declive de la rapidez, el mayor potencial está entre las (12-18) horas.

Tabla 3. Promedio de la velocidad del viento de los 4 Puntos

N° Punto	Velocidad Promedio (m/s)
P1	6.64
P2	7.11
P3	6.95
P4	7.13

Fuente: Elaboración propia

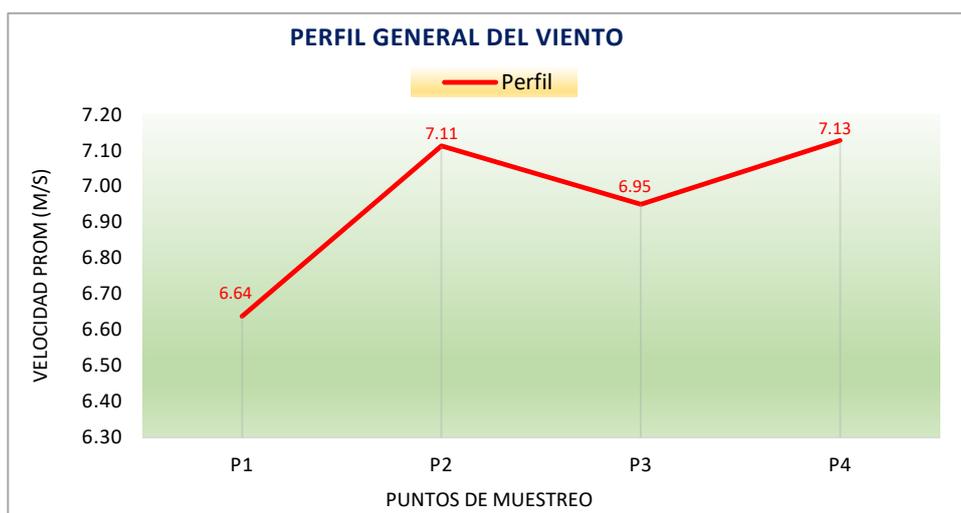


Figura 28. Perfil promedio de la velocidad del viento de los 4 Puntos

Fuente: Elaboración propia

En la figura 27, de los cuatro puntos evaluados se calculó la velocidad del viento promedio de cada uno, obteniéndose que el punto 4 es el que tiene una mayor velocidad de 7.13m/s, el que tiene una menor velocidad es el punto 1 con 6.64m/s, estas variaciones dependen principalmente de las condiciones climáticas de cada día y de la altitud en m.s.n.m. de la de la ubicación de los puntos.

- **Distribución de Weibull de las velocidades de viento a 3 metros de altura:**

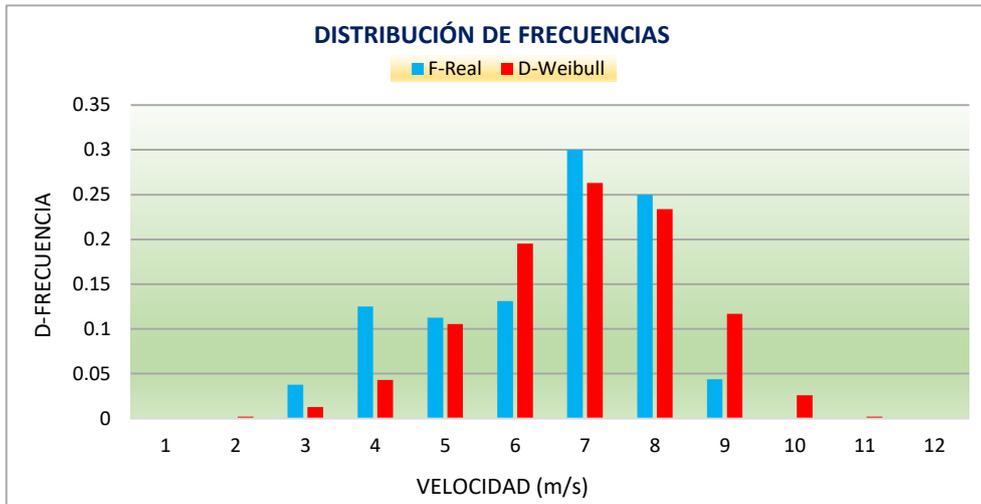


Figura 29. Distribución de frecuencias real y Weibull

Fuente: Elaboración propia

En la figura 28, se tiene la distribución de la frecuencia real de velocidad de viento a 3 metros de altura, lo cual muestra un mayor porcentaje entre 6 a 8 m/s de velocidad, en el intervalo de (10-18) horas, la distribución de Weibull se asemeja a la real en un arreglo de 1 a 12 m/s.

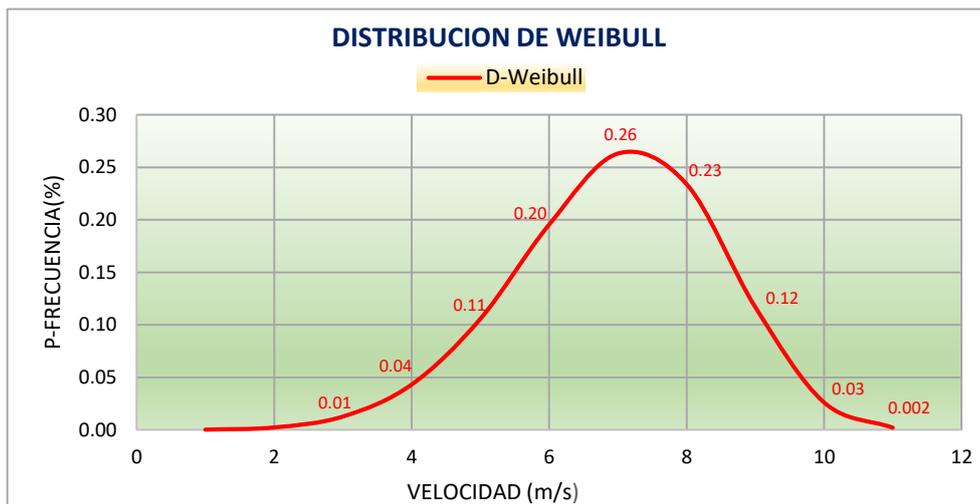


Figura 30. Distribución de probabilidad de frecuencia Weibull

Fuente: Elaboración propia

En la figura 29, en referencia a la distribución real de eventos, se obtuvo una mayor probabilidad de frecuencia de vientos de 6 a 8 m/s de velocidad, en el intervalo de (10-18) horas, se estimó una potencia de energía de 234.1w/m², por área expuesta al viento.

- **Distribución de Weibull de las velocidades de viento extrapolado a 30 metros de altura:**

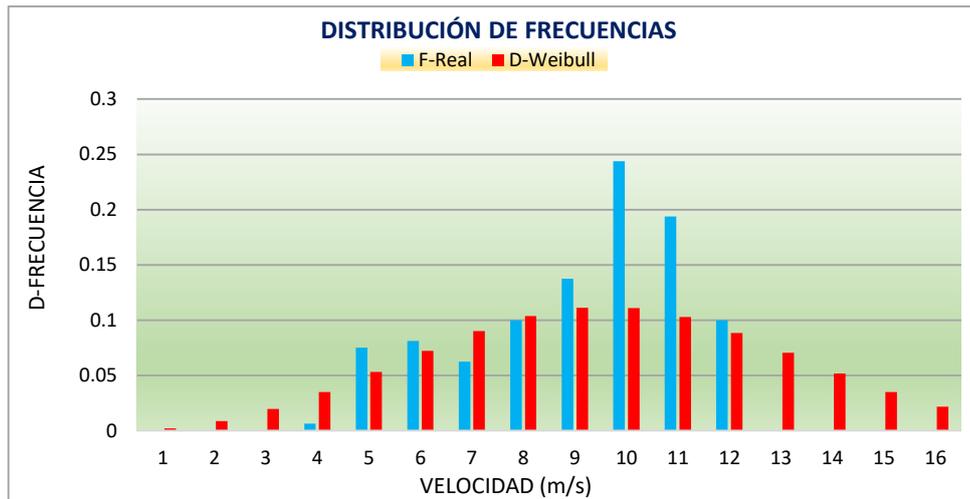


Figura 31. Distribución de frecuencias real y Weibull

Fuente: Elaboración propia

En la figura 30, se tiene la distribución de la frecuencia real de velocidad de viento a 30 metros de altura, lo cual muestra un mayor porcentaje entre 8 a 12 m/s de rapidez, en el intervalo de (10-18) horas, la distribución de Weibull se asemeja a la real en un arreglo de 1 a 16 m/s.

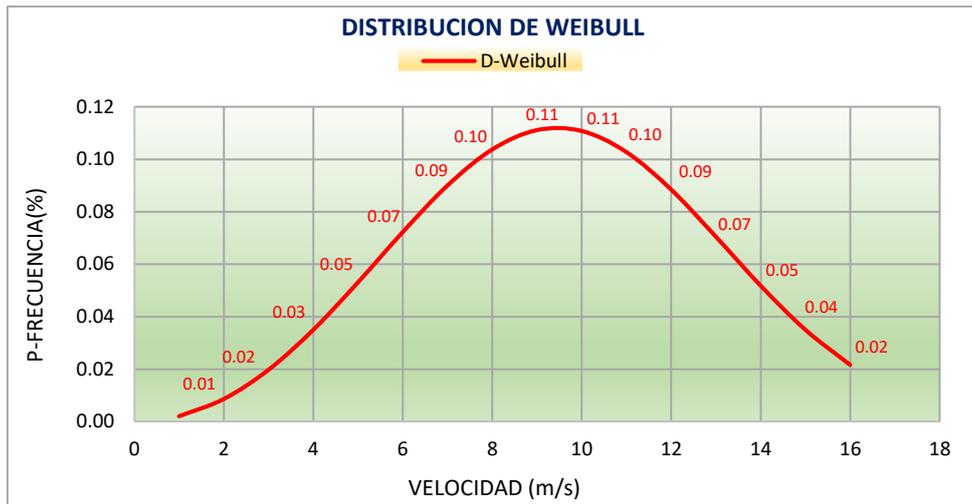


Figura 32. Distribución de probabilidad de frecuencia Weibull

Fuente: Elaboración propia

En la figura 31. En referencia a la distribución real de eventos, se obtuvo una mayor probabilidad de frecuencia de vientos de 8 a 12 m/s de velocidad, en el intervalo de (10-18) horas, se estimó una potencia de energía de 616.2 w/m², por área expuesta al viento.

Determinar la eficiencia productiva de energía eléctrica:

- **Producción de energía en el Punto N°01 (torre 3m):**

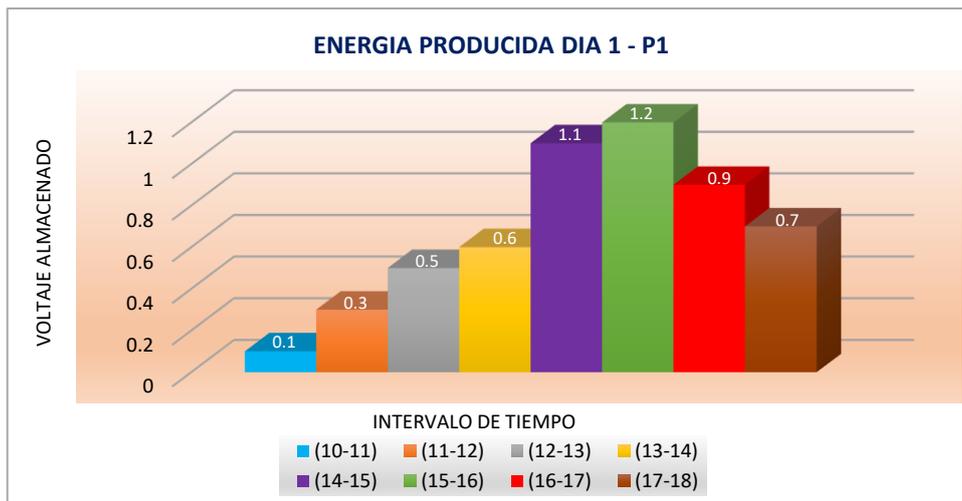


Figura 33. Producción de energía en el día 1-P1

Fuente: Elaboración propia

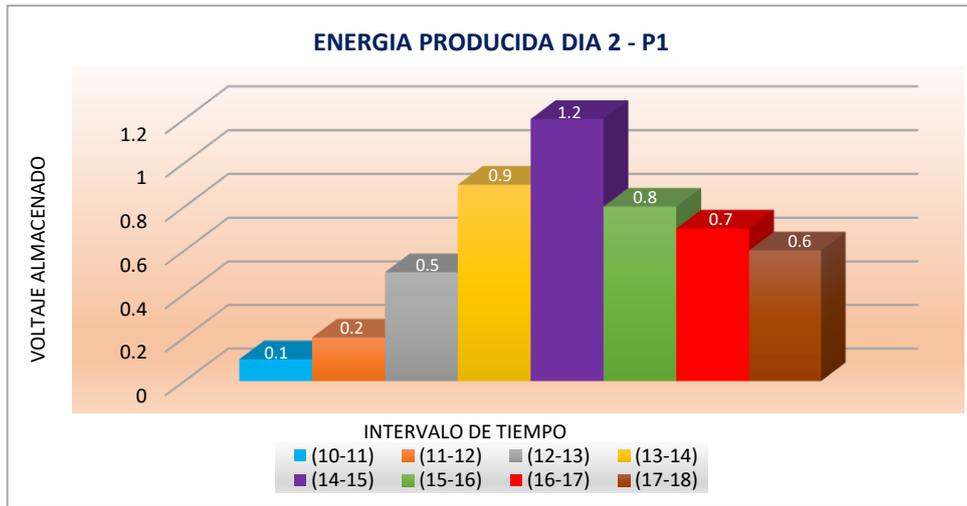


Figura 34. Producción de energía en el día 2-P1

Fuente: Elaboración propia

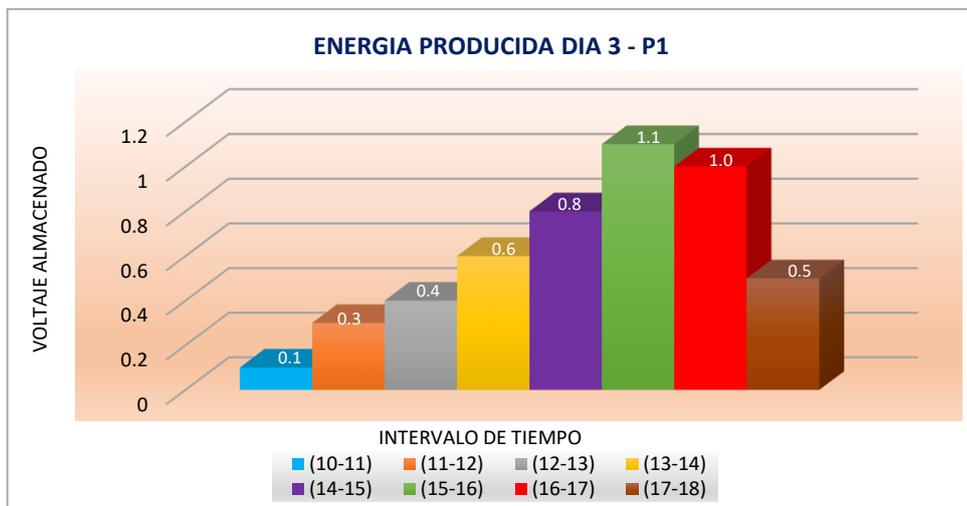


Figura 35. Producción de energía en el día 3-P1

Fuente: Elaboración propia

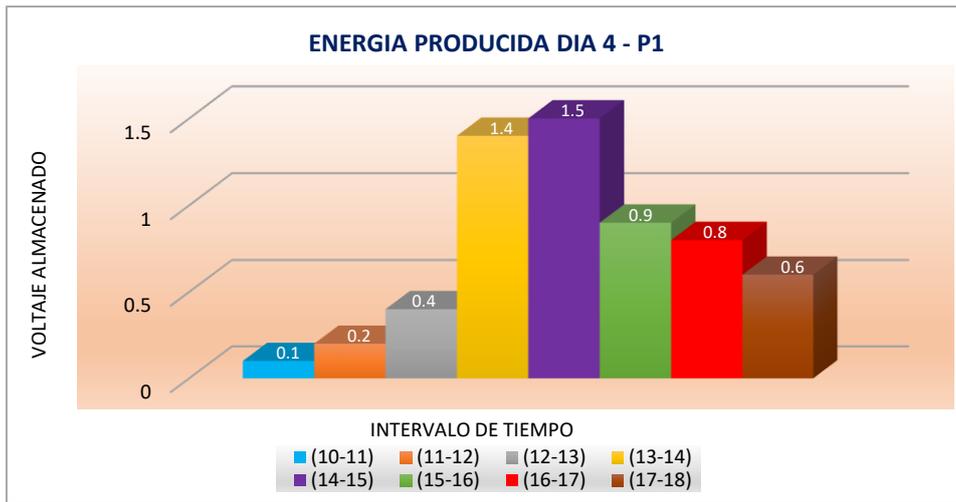


Figura 36. Producción de energía en el día 4-P1

Fuente: Elaboración propia

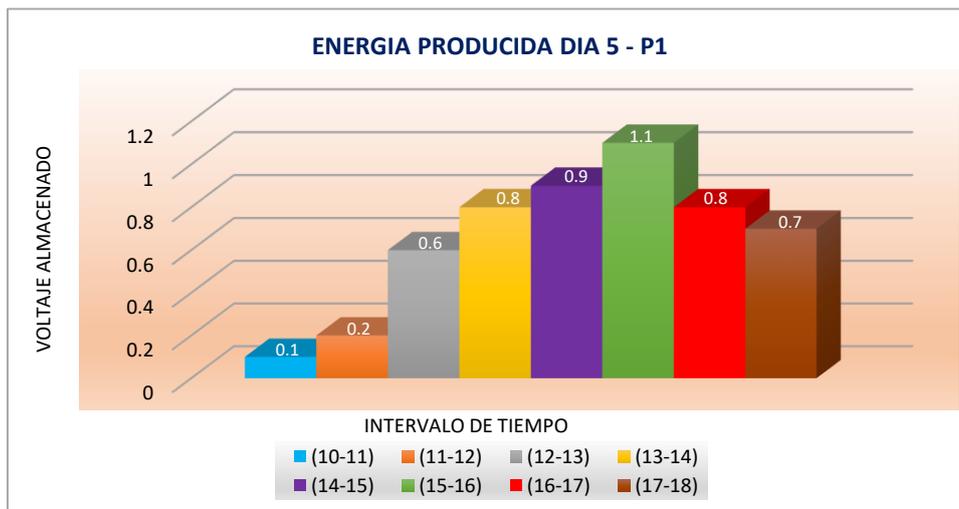


Figura 37. Producción de energía en el día 5-P1

Fuente: Elaboración propia

En el punto N° 01, la producción de energía entre las primeras horas inicia con resultados bajos, en el intervalo de (14-16) horas se evidencia la máxima generación de voltaje, la mayor generación energética está a partir de las 11, 12 o 13 horas, durante el muestreo se almacenó un total de 26.2v.

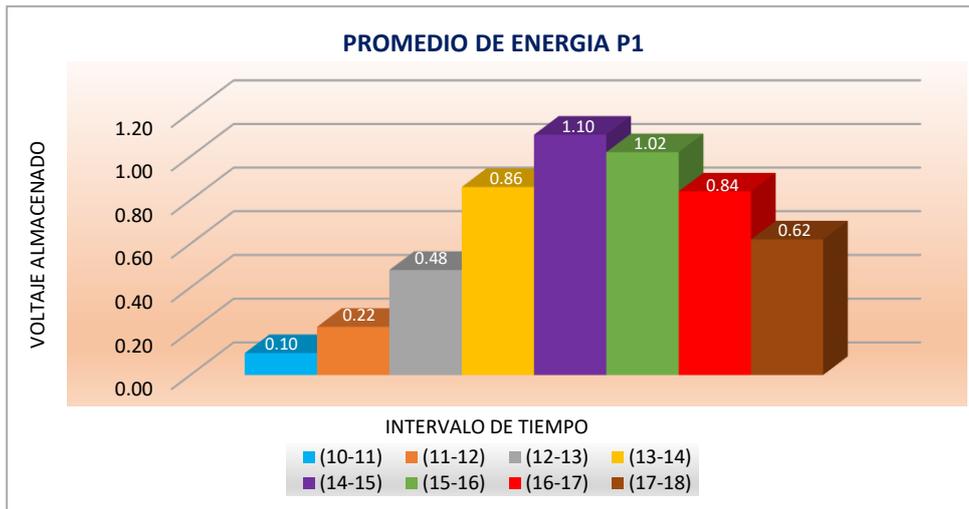


Figura 38. Promedio de producción de energía en el Punto 1

Fuente: Elaboración propia

En la figura 37, en el punto N°01 se promedió el voltaje por cada intervalo de tiempo del total de los días, el promedio de energía se inició con 0.10v, el máximo promedio es de 1.10v en el intervalo de (14-15) horas, la mayor generación energética promedio está entre las (12-18) horas.

- **Producción de energía en el Punto N°02 (torre 3m):**

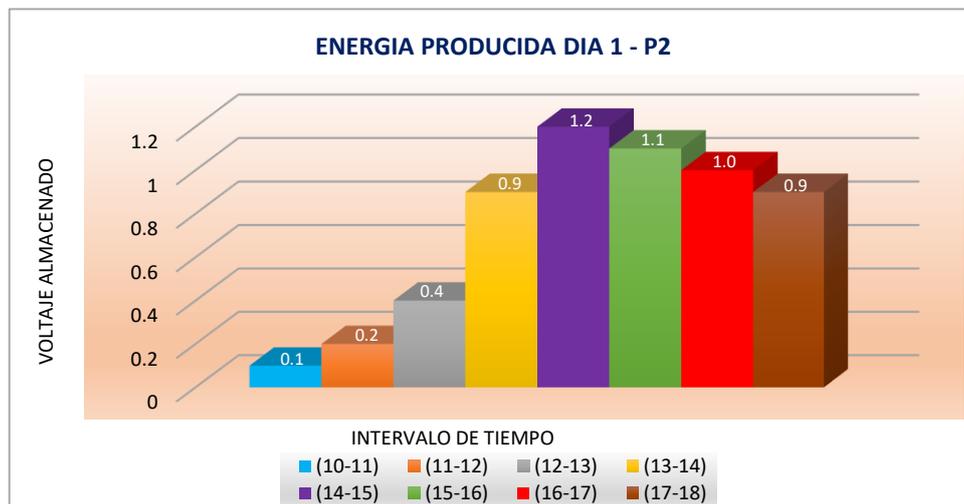


Figura 39. Producción de energía en el día 1-P2

Fuente: Elaboración propia

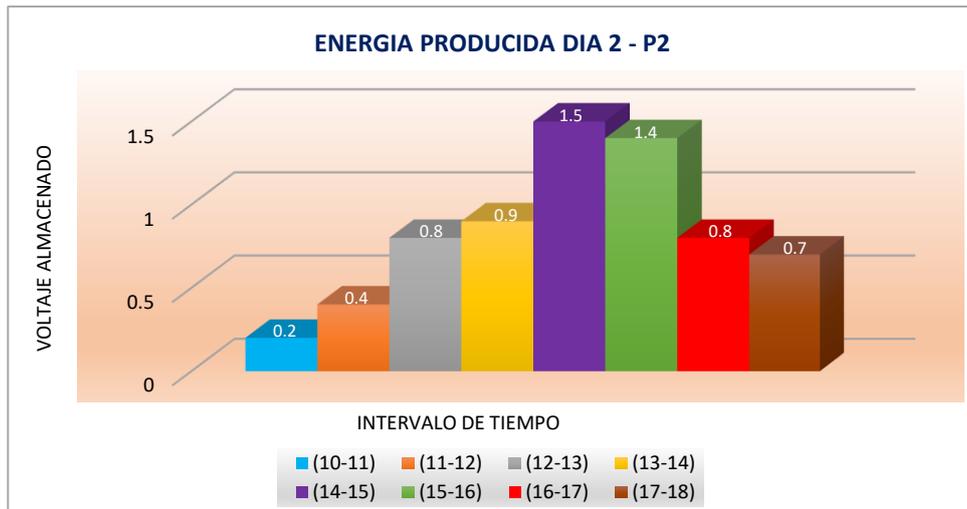


Figura 40. Producción de energía en el día 2-P2

Fuente: Elaboración propia

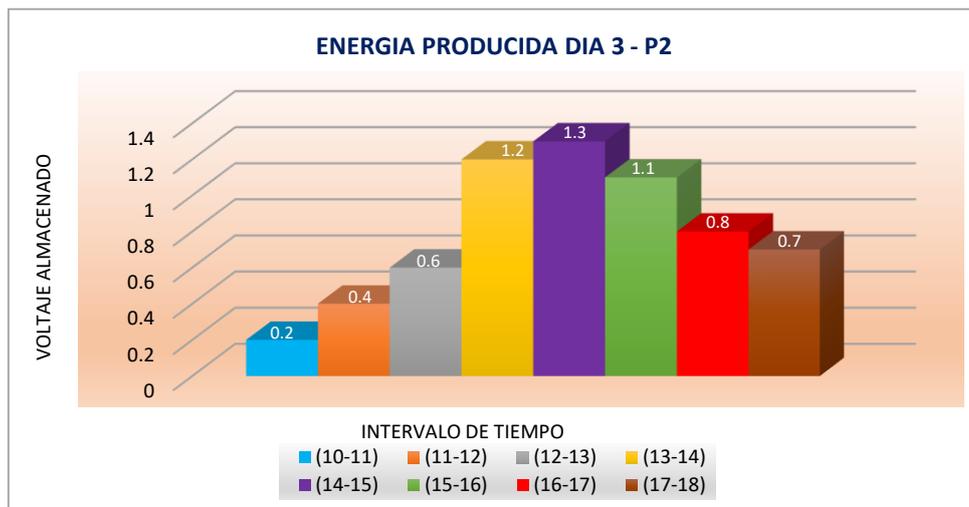


Figura 41. Producción de energía en el día 3-P2

Fuente: Elaboración propia

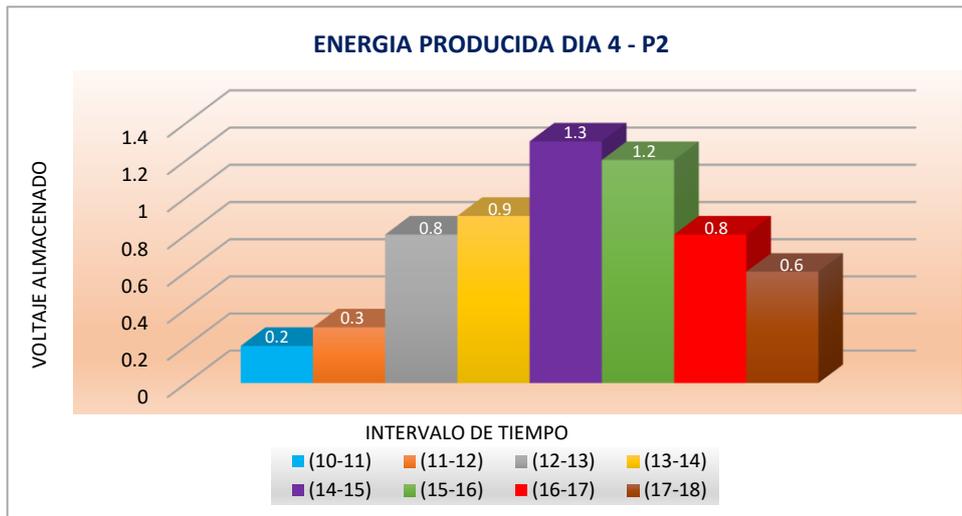


Figura 42. Producción de energía en el día 4-P2

Fuente: Elaboración propia

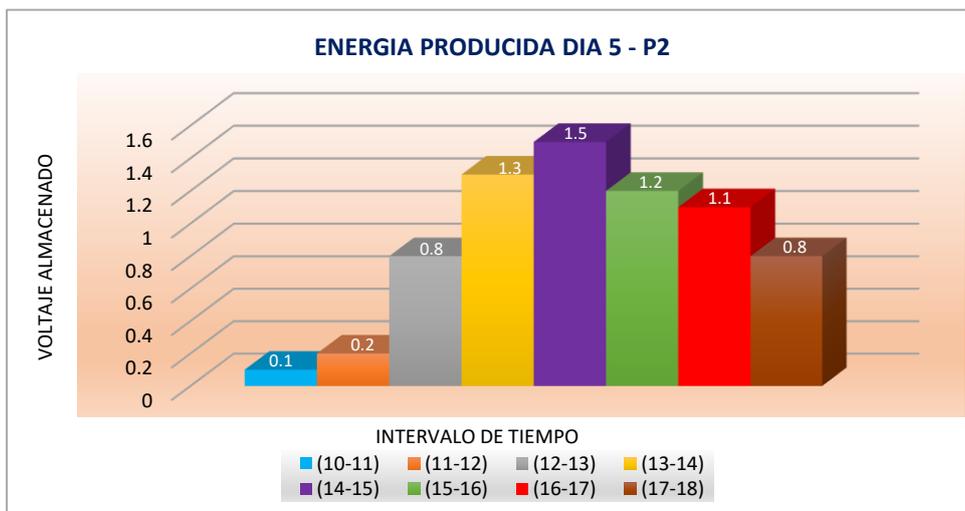


Figura 43. Producción de energía en el día 5-P2

Fuente: Elaboración propia

En el punto N° 02, la producción de energía entre las primeras horas inicia con resultados bajos, en el intervalo de (14-15) horas se evidencia la máxima generación de voltaje, la mayor generación energética está a partir de las 12 o 13 horas, durante el muestreo se almacenó un total de 31.9v.

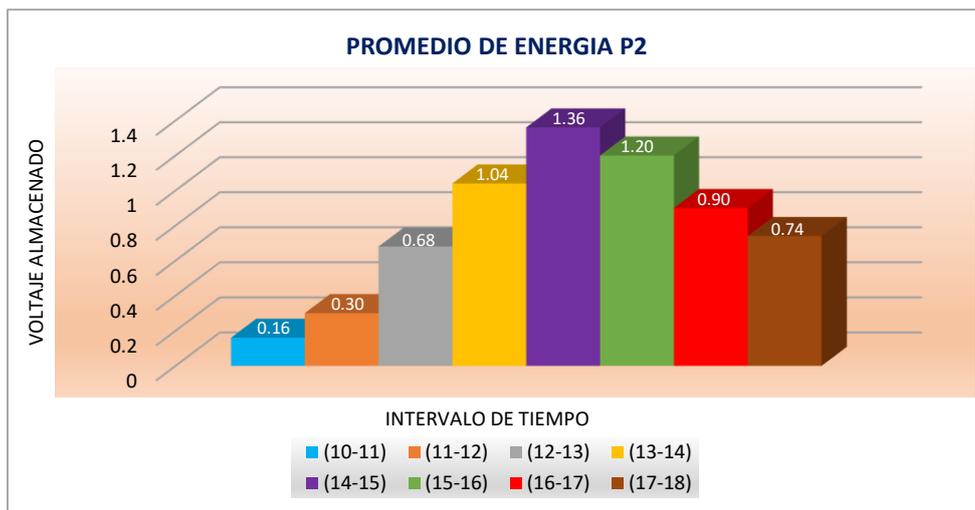


Figura 44. Promedio de producción de energía en el Punto 2

Fuente: Elaboración propia

En la figura 43, en el punto N°02 se promedió el voltaje por cada intervalo de tiempo del total de los días, el promedio de energía se inició con 0.16v, el máximo promedio es de 1.36v en el intervalo de (14-15) horas, la mayor generación energética promedio está entre las (12-18) horas.

- **Producción de energía en el Punto N°03 (torre 3m):**

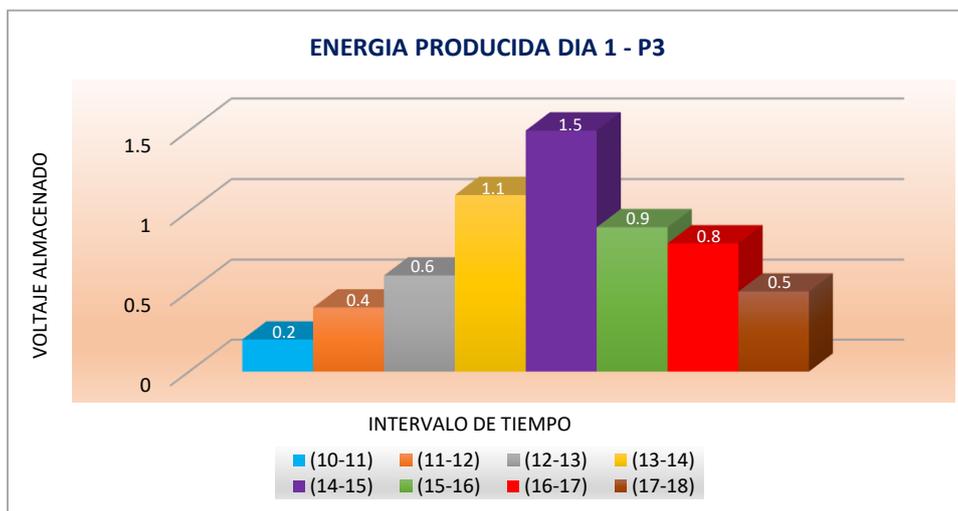


Figura 45. Producción de energía en el día 1-P3

Fuente: Elaboración propia

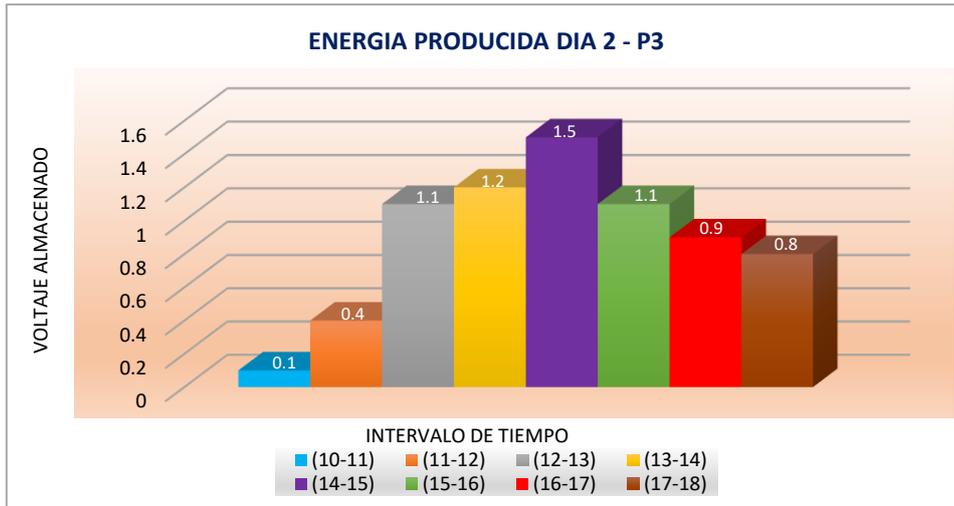


Figura 46. Producción de energía en el día 2-P3

Fuente: Elaboración propia

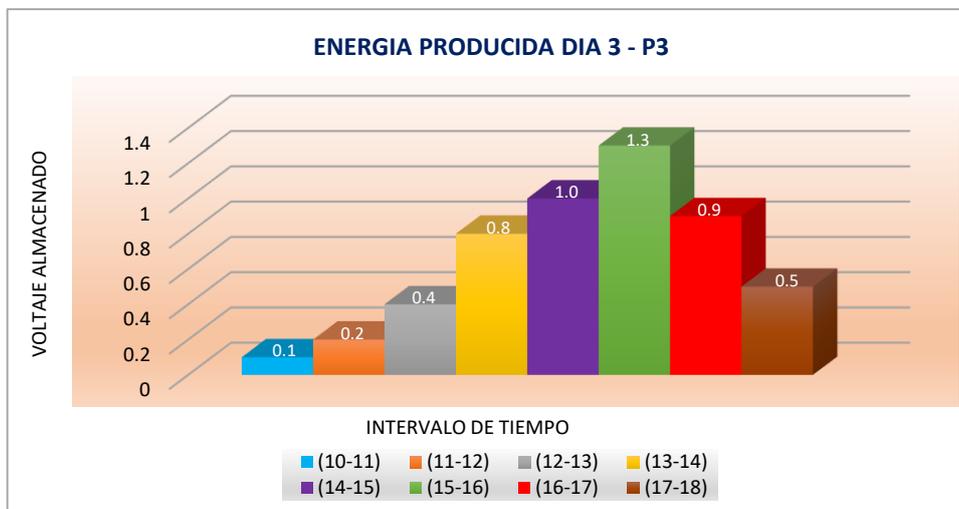


Figura 47. Producción de energía en el día 3-P3

Fuente: Elaboración propia

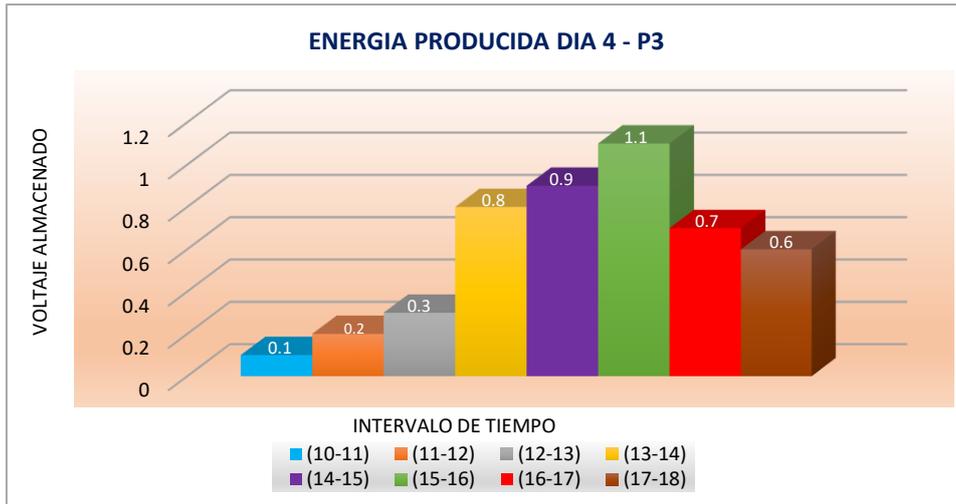


Figura 48. Producción de energía en el día 4-P3

Fuente: Elaboración propia

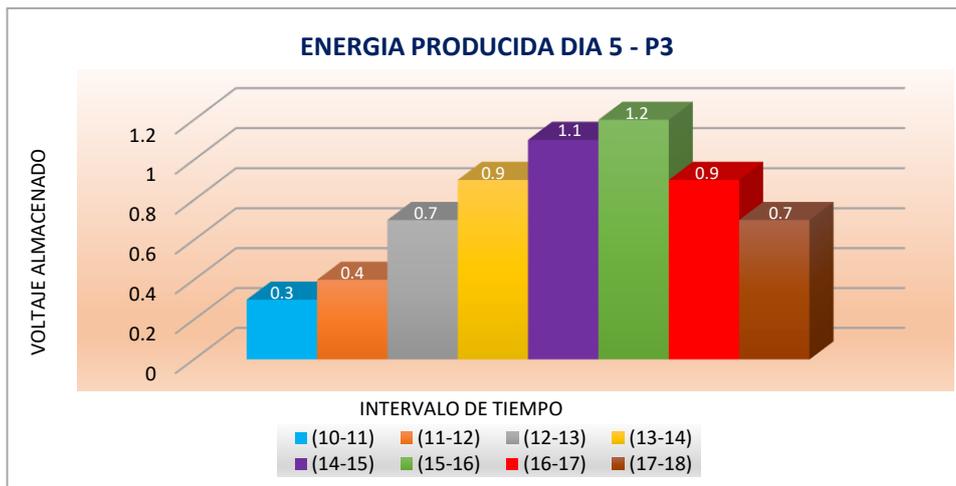


Figura 49. Producción de energía en el día 5-P3

Fuente: Elaboración propia

En el punto N° 03, la producción de energía entre las primeras horas inicia con resultados bajos, en el intervalo de (14-16) horas se evidencia la máxima generación de voltaje, la mayor generación energética está a partir de las 12 o 13 horas, durante el muestreo se almacenó un total de 29.2v.

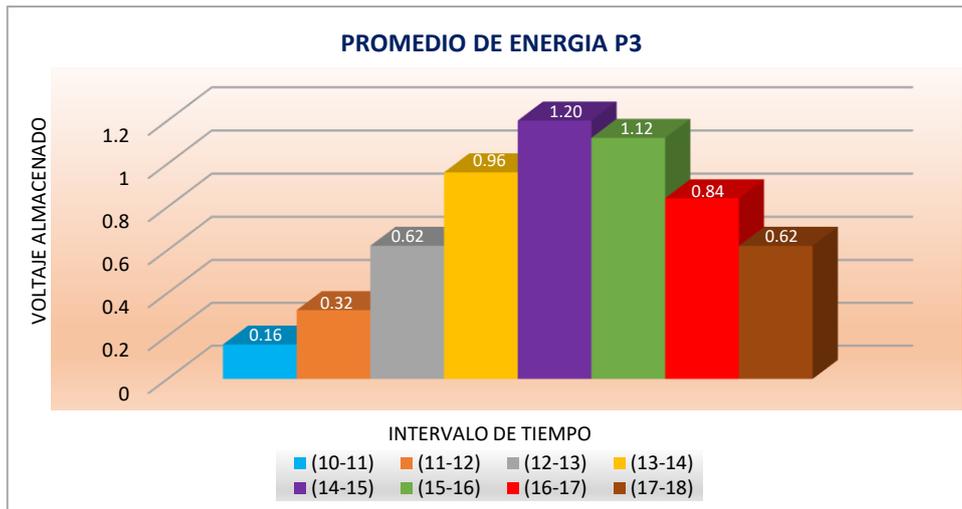


Figura 50. Promedio de producción de energía en el Punto 3

Fuente: Elaboración propia

En la figura 49, en el punto N°03 se promedió el voltaje por cada intervalo de tiempo del total de los días, el promedio de energía se inició con 0.16v, el máximo promedio es de 1.20v en el intervalo de (14-15) horas, la mayor generación energética promedio está entre las (12-18) horas.

- **Producción de energía en el Punto N°04 (torre 3m):**

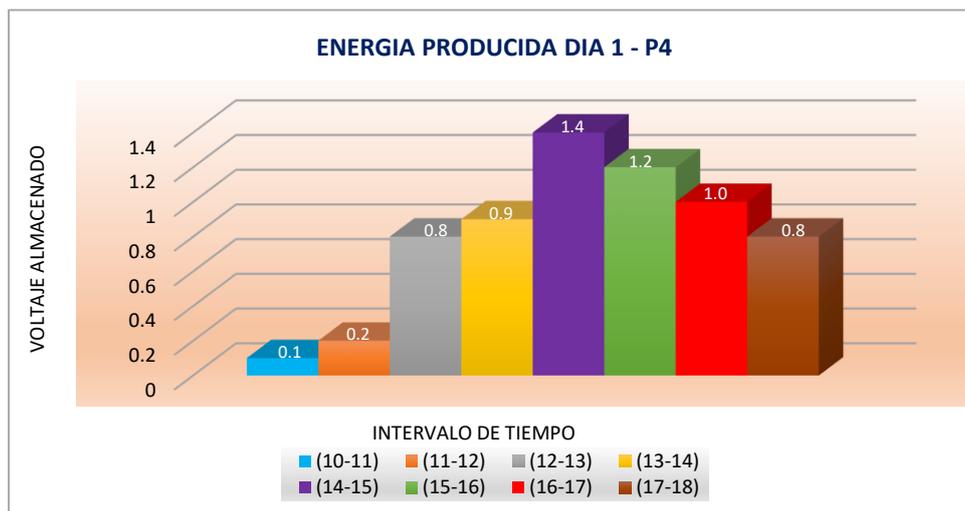


Figura 51. Producción de energía en el día 1-P4

Fuente: Elaboración propia

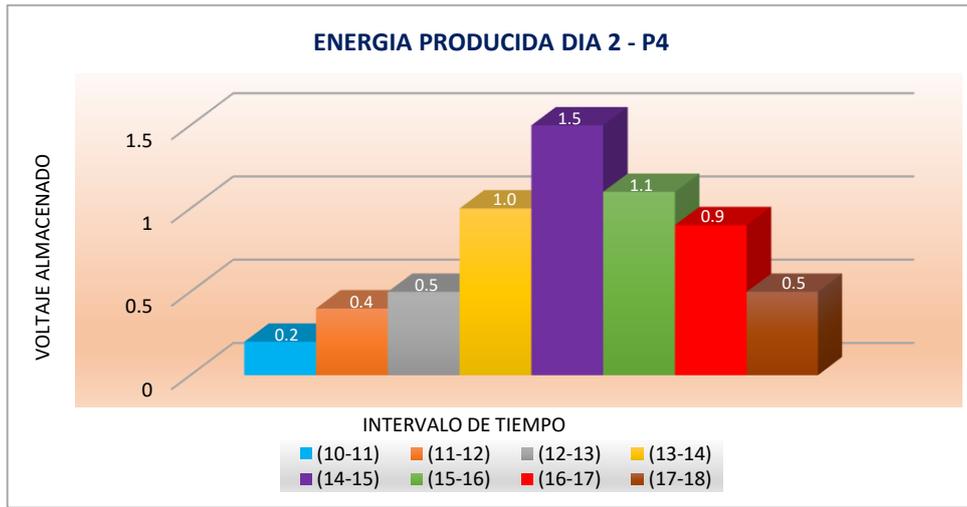


Figura 52. Producción de energía en el día 2-P4

Fuente: Elaboración propia

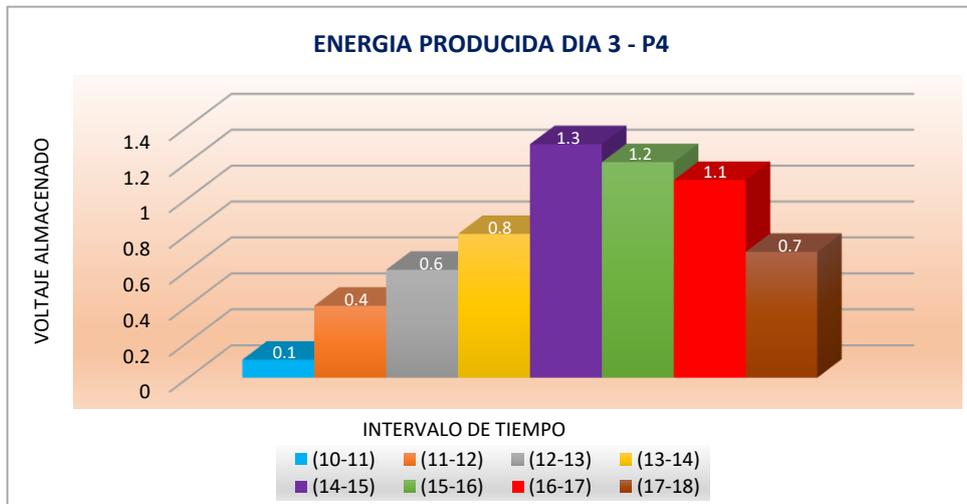


Figura 53. Producción de energía en el día 3-P4

Fuente: Elaboración propia

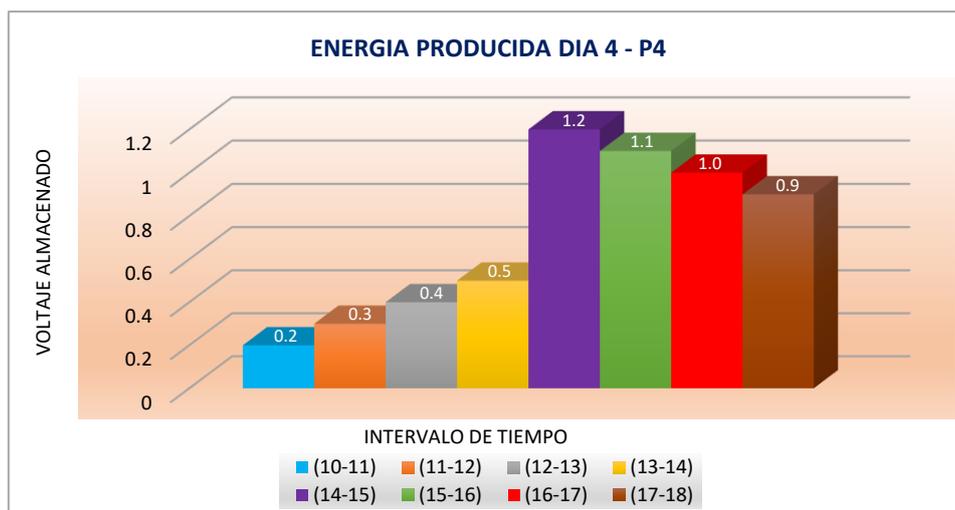


Figura 54. Producción de energía en el día 4-P4

Fuente: Elaboración propia

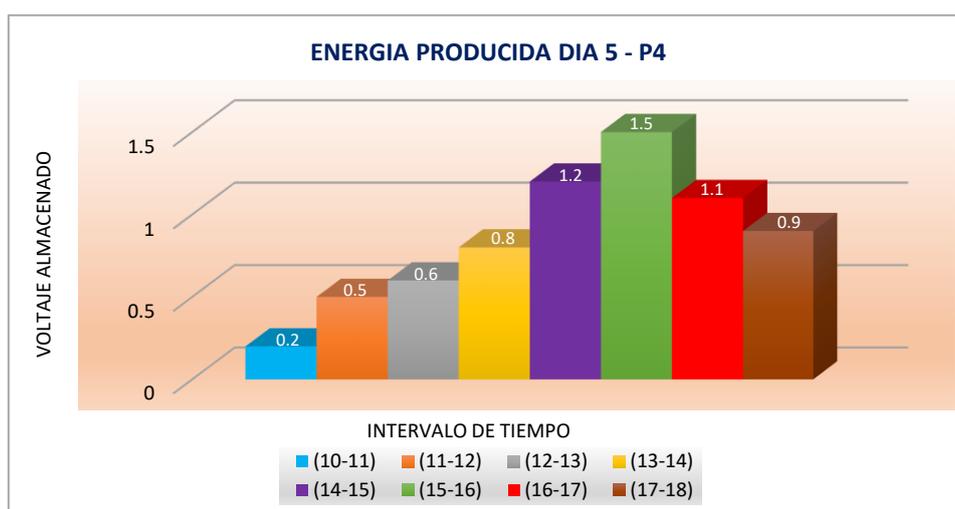


Figura 55. Producción de energía en el día 5-P4

Fuente: Elaboración propia

En el punto N° 04, la producción de energía entre las primeras horas inicia con resultados bajos, en el intervalo de (14-16) horas se evidencia la máxima generación de voltaje, la mayor generación energética está a partir de las 11, 12 o 13 horas, durante el muestreo se almacenó un total de 31.1v.

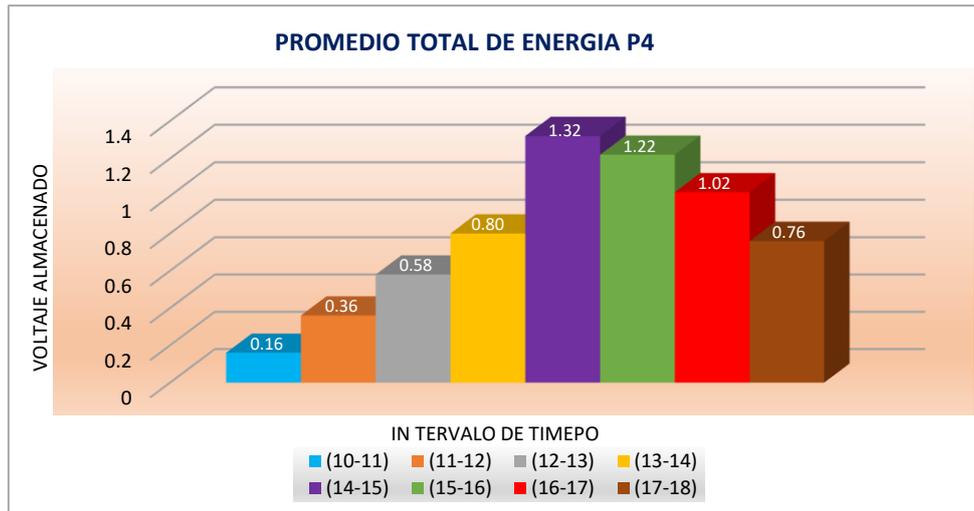


Figura 56. Promedio de producción de energía en el Punto 4

Fuente: Elaboración propia

En la figura 55, en el punto N°04 se promedió el voltaje por cada intervalo de tiempo del total de los días, el promedio de energía se inició con 0.16v, el máximo promedio es de 1.32v en el intervalo de (14-15) horas, la mayor generación energética promedio está entre las (12-18) horas.

Tabla 4. Promedio de producción de energía en los 4 Puntos

N° Punto	Energía Promedio (v)
P1	0.66
P2	0.77
P3	0.73
P4	0.78

Fuente: Elaboración propia

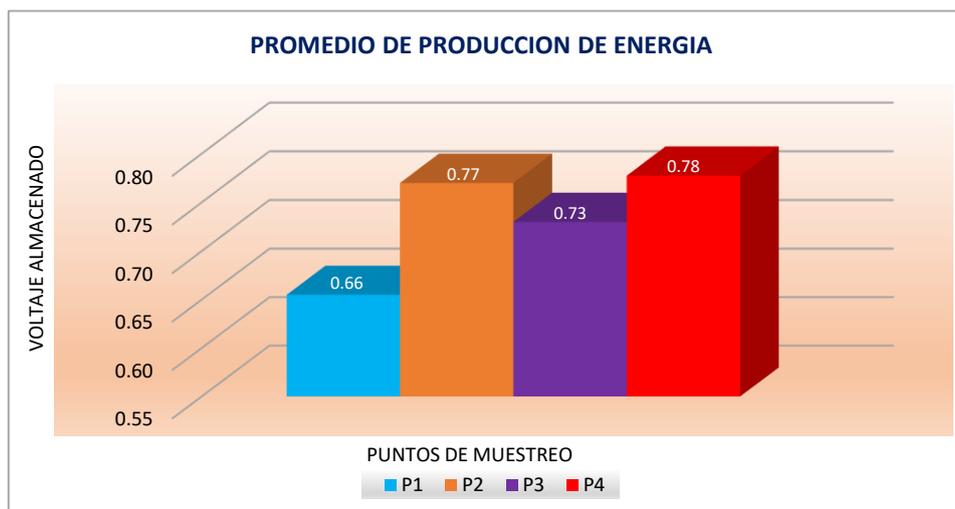


Figura 57. Promedio de producción de energía en los 4 Puntos

Fuente: Elaboración propia

En la figura 56, de los cuatro puntos evaluados se calculó el voltaje promedio de cada uno, obteniéndose que el punto 4 es el que tiene un mayor promedio de producción de energía de 0.78v, el menor promedio de generación está en el punto 1 con 0.66v, estas variaciones dependen principalmente de las condiciones climáticas de cada día y de la altitud en m.s.n.m. de la de la ubicación de los puntos.

- **Energía teórica con velocidades de viento a 3 metros de altura:**

Tabla 5. *Potencia teórica a 3 metros de altura*

Velocidad viento (m/s)	Potencia (W)
9	169.7
8	119.2
7	79.9
6	50.3
5	29.1
4	14.9
3	6.3

Fuente: Elaboración propia

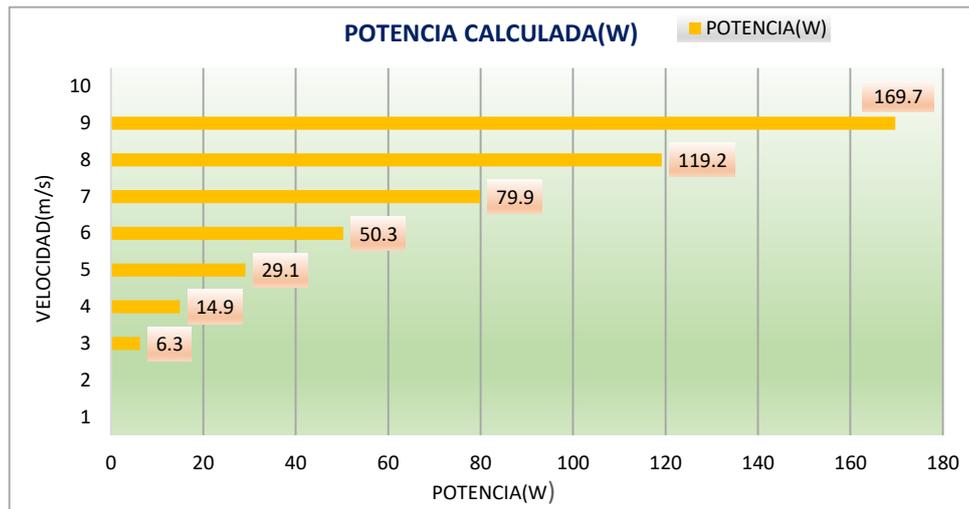


Figura 58. Potencia teórica a 3 metros de altura

Fuente: Elaboración propia

En la figura 57, se obtuvo una distribución de potencia teórica en relación a las velocidades de viento a 3 metros de altura y datos reales del aerogenerador a pequeña escala, obteniéndose una potencia mínima de 6.3W con una velocidad 3m/s y una máxima de 169.7W con una velocidad de 9m/s.

Tabla 6. Frecuencia de velocidad del viento a 3 metros

Velocidad viento (m/s)	Frecuencia (h)
9	7
8	40
7	48
6	21
5	18
4	20
3	6

Fuente: Elaboración propia

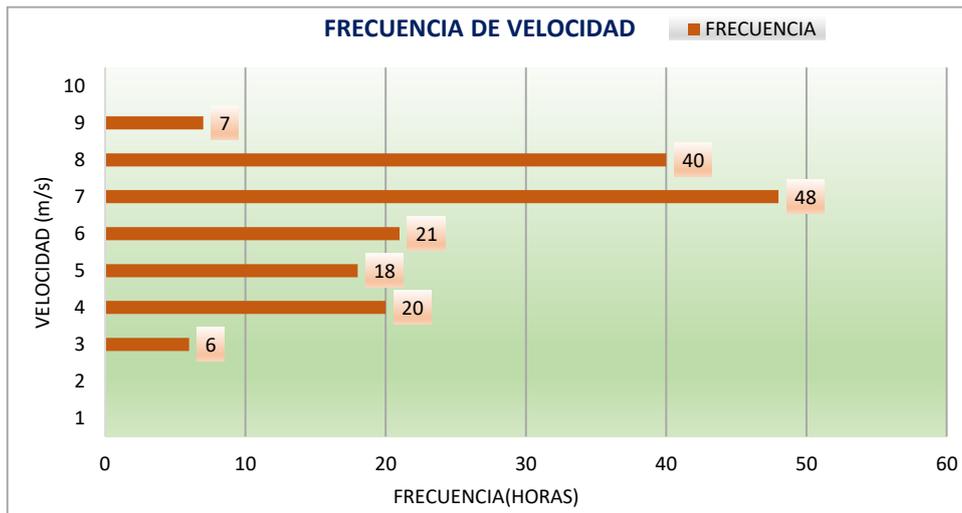


Figura 59. Frecuencia de velocidad de viento a 3 metros

Fuente: Elaboración propia

En la figura 58, la frecuencia de la velocidad del viento a 3 metros de altura, de los cuatros puntos de muestreo con un total de 160 horas, se tiene que la menor frecuencia en horas está a una velocidad de 3m/s y la mayor frecuencia a una velocidad de 7m/s.

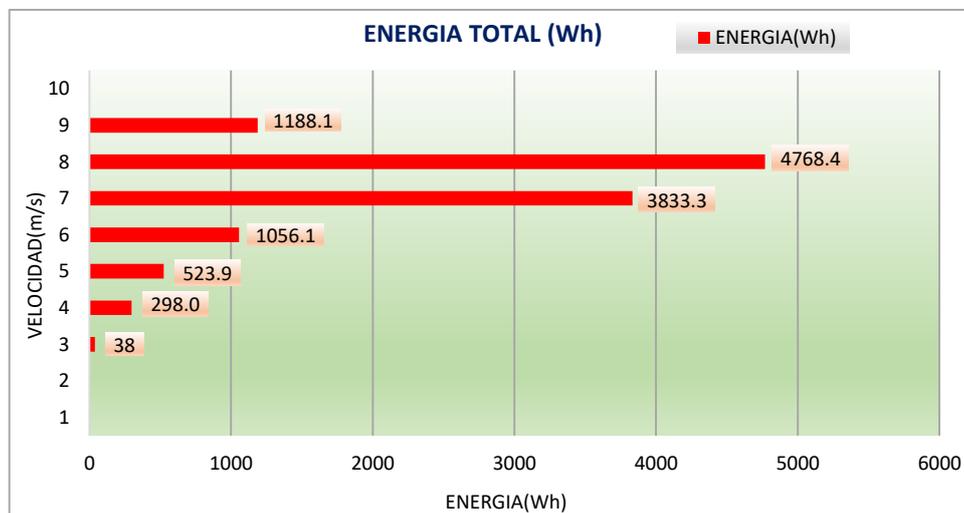


Figura 60. Energía estimada en (Wh) a 3 metros de altura

Fuente: Elaboración propia

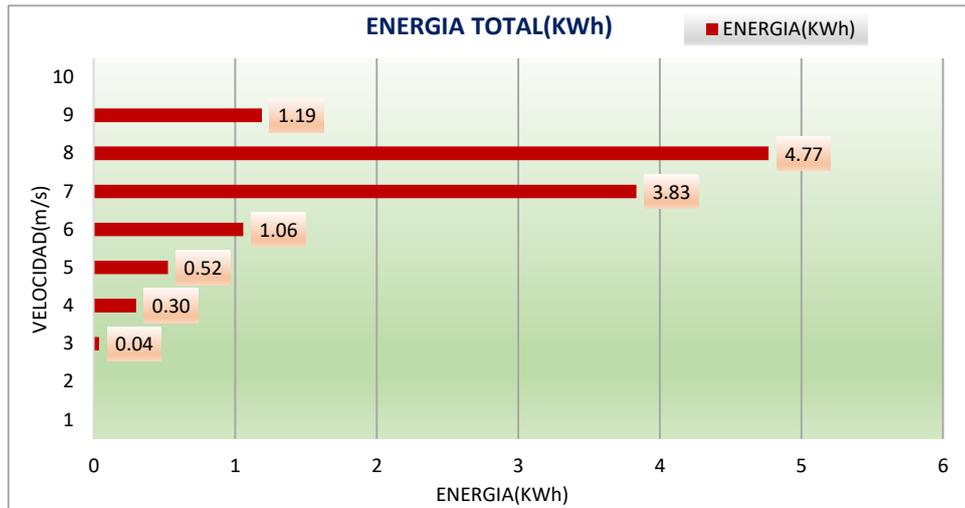


Figura 61. Energía estimada en (KWh) a 3 metros de altura

Fuente: Elaboración propia

En las figuras 59 y 60, se calculó la energía teórica que resulta del producto de la potencia teórica con la frecuencia de velocidades, se obtuvo como resultado la energía mínima de 38Wh o 0.04KWh con una rapidez de 3m/s, la energía máxima es de 4768.4Wh o 4.77KWh con una rapidez de 8m/s, se obtuvo una producción total de 11.71KWh.

- **Energía teórica con velocidades de viento extrapolado a 30 metros de altura:**

Tabla 7. Potencia teórica a 30 metros de altura

Velocidad viento (m/s)	Potencia (W)
12	133002.5
11	102445.8
10	76969.0
9	56110.4
8	39408.1
7	26400.4
6	16625.3
5	9621.1
4	4926.0

Fuente: Elaboración propia

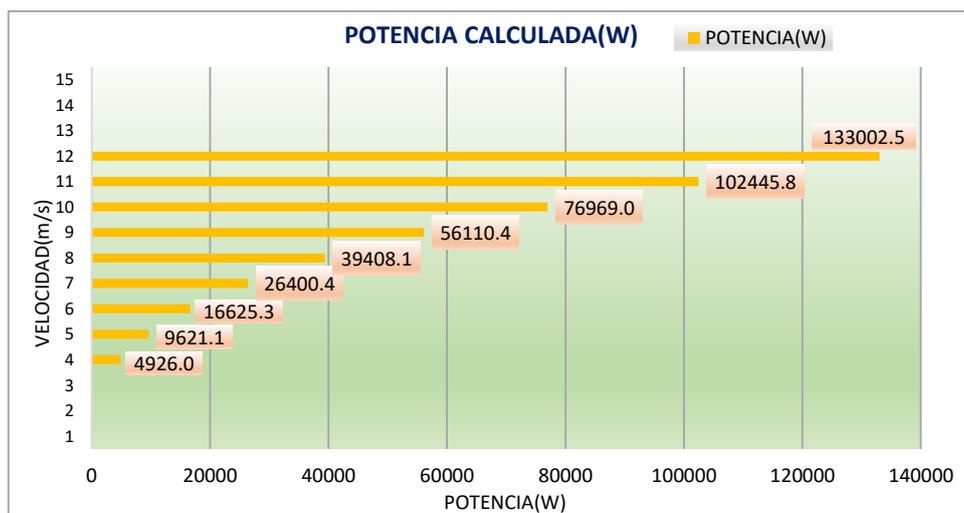


Figura 62. Potencia teórica a 30 metros de altura

Fuente: Elaboración propia

En la figura 61, se obtuvo una distribución de potencia teórica en relación a las velocidades de viento a 30 metros de altura y datos de aerogenerador gran escala, obteniéndose una potencia mínima de 4926.0W con una velocidad 4m/s y una máxima de 133002.5W con una velocidad de 12m/s.

Tabla 8. Frecuencia de velocidad de viento a 30 metros

Velocidad viento (m/s)	Frecuencia (h)
12	16
11	31
10	39
9	22
8	16
7	10
6	13
5	12
4	1

Fuente: Elaboración propia

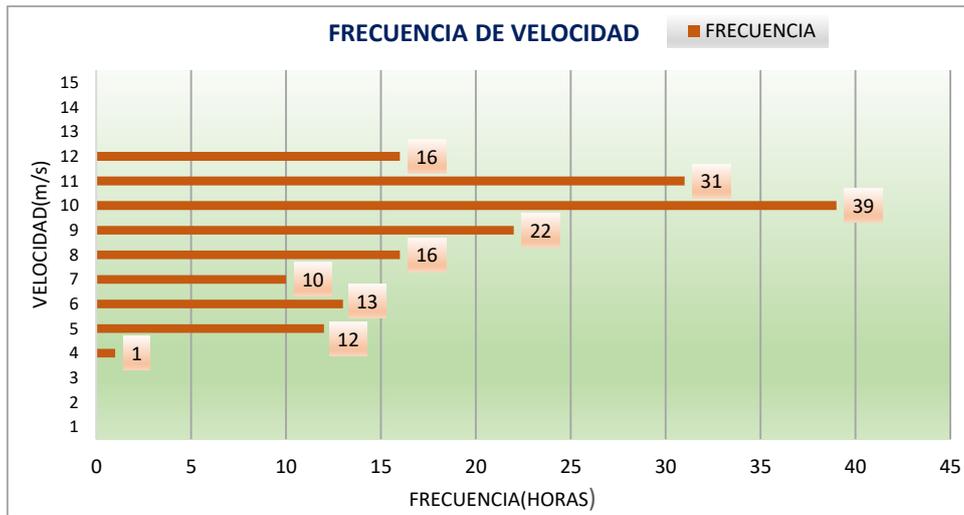


Figura 63. Frecuencia de velocidad de viento a 30 metros

Fuente: Elaboración propia

En la figura 62, la frecuencia de la velocidad del viento a 30 metros de altura, de los cuatros puntos de muestreo con un total de 160 horas, se tiene que la menor frecuencia en horas está a una velocidad de 4m/s y la mayor frecuencia a una velocidad de 10m/s.

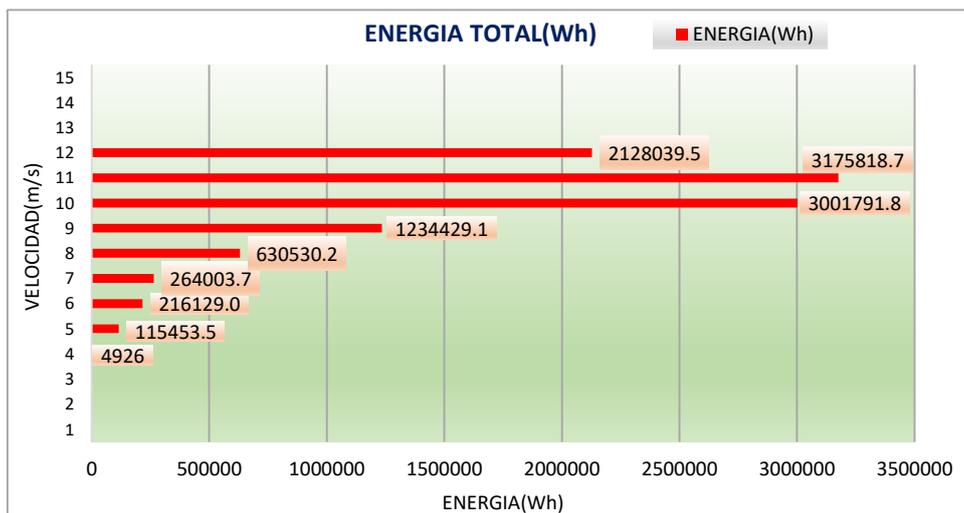


Figura 64. Energía estimada en (Wh) a 30 metros de altura

Fuente: Elaboración propia

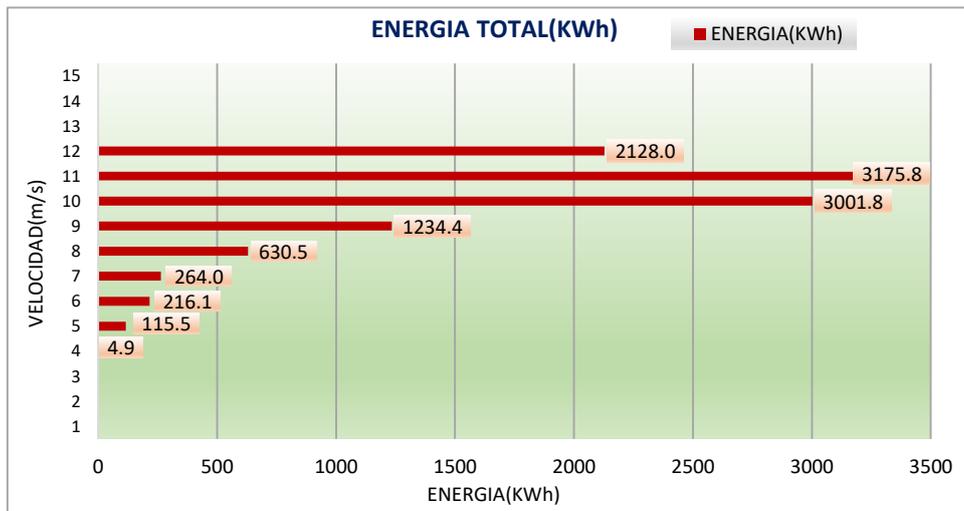


Figura 65. Energía estimada en (KWh) a 30 metros de altura

Fuente: Elaboración propia

En las figuras 63 y 64, se calculó la energía teórica que resulta del producto de la potencia teórica con la frecuencia de velocidades, se obtuvo como resultado la energía mínima de 4926Wh o 4.9KWh con una rapidez de 4m/s, la energía máxima es de 3175818.7Wh o 3175.8KWh con una rapidez de 11m/s, se obtuvo una producción total de 10771.12KWh.

V. DISCUSIÓN

En la tesis titulada “Aprovechamiento del potencial eólico para generar energía eléctrica en pampas de Reque, Chiclayo-2022”, se utilizó la ficha de recolección de datos en los cuatro puntos de muestreo durante cinco días en cada uno, en el intervalo de tiempo de 10-18 horas, donde se usó un aerogenerador, controlador de aerogenerador, controlador de carga, y batería para la producción de energía eléctrica y un anemómetro para medir las velocidades de viento por cada hora; en relación a los objetivos planteados, se obtuvo resultados óptimos respecto al potencial eólico y una generación eficiente de energía eléctrica.

Se identificó el potencial eólico para la generación de energía eléctrica en pampas de Reque, para ello se realizó un muestreo in situ con la utilización de un anemómetro para medir las velocidades de viento por hora, de lunes a viernes en el horario de 10-18 horas por cada punto; donde se elaboró gráficos de perfil del viento que dio como resultado que el mayor potencial eólico se encuentra a partir de 12 o 13 horas hasta las 18 horas.

Lo obtenido se asemeja parcialmente a la investigación de Byll (2019) que estudio el aprovechamiento de la energía eólica con la finalidad de mejorar positivamente la calidad de vida de los pobladores Llicua Alta, donde realizó mediciones de la velocidad de viento utilizando un anemómetro en tres viviendas, donde se obtuvo resultados que se concluye que el mayor potencial eólico se da es en el horario de la 13-17 horas.

También hemos realizado el método estadístico de probabilidad de frecuencia de Weibull, en base a datos reales obtenidos, en la investigación se aplicó el estadístico a 3 metros de altura se dio como resultado una velocidad promedio de 6.95m/s y una potencia de 234.1W/m²; también se extrapolaron a 30 metros de alto donde la velocidad promedio es de 9.60m/s y una potencia de 616.2 W/m².

De los resultados obtenidos se tiene una similitud a la investigación de Rabbani y Zeeshan (2020) que evaluó el potencial del viento en las ciudades de Pakistán a alturas desde los 10m hasta los 80m aplicando el método de Weibull, donde se halló que en 4 ciudades existe mayor potencial, siendo Sujawal, Sanghar, Tando y

Umerkot, las cuales tuvieron cifras de 355,6 W/m², 312 W/m², 288,2 W/m² y 252,8 W/m² respectivamente. Por otro lado, Al-Wesabi [et al], (2021) también aplicó el método de Weibull para el aprovechamiento de la energía eólica en Yemen, extrajo datos eólicos durante 5 años, el potencial generado se obtuvo 220,8 W/m² a 10 metros y 822,6 W/m² a 30 metros de altura.

Se determinó la eficiencia productiva de energía eléctrica generada en pampas de Reque, por lo cual se utilizó un aerogenerador y otros equipos, el almacenamiento se registró por hora, de lunes a viernes en el horario de 10-18 horas por cada por cada punto; se elaboró gráficos de voltaje almacenado, donde se obtuvo un resultado que la mayor producción de energía se encuentra a partir de 12 o 13 horas hasta las 18 horas, con una generación de voltaje de 0.5v a 1.5v por hora.

Los resultados obtenidos tienen una parecido el estudio de Byll (2019) que evaluó el aprovechamiento del potencial eólico en Llicua Alta; utilizó equipos reales como un aerogenerador, batería y entre otros, se obtuvo como resultados que la mayor producción de energía se encuentra entre las 13-17 horas donde se obtuvo un voltaje de 0.2v a 0.4v por hora.

Asimismo, se calculó la energía teórica producida, con datos de velocidad de 3 y 30 metros de altura, densidad y área de rotor de aerogenerador a pequeña y gran escala; a 3 metros se obtuvo una generación de 11.71KWh y a 30 metros una producción de 10771.12KWh.

La energía teórica obtenida se asemeja a Gamarra (2019) en la investigación sobre la utilización del viento para producir la electricidad teórica en el distrito de Reque, la energía generada por día fue de 35.30 KWh para Siete Techos. Por otro lado, Ibrahim (2022) en Egipto se evaluó la producción de energía eólica en 4 regiones: Asuán, Hurgada, Alejandría y el Cairo, tomando datos de la NASA a 10m de altura, demostrando que tuvo un potencial de 20,172.0 KWh.

VI. CONCLUSIONES

1. Al realizar el monitoreo in situ en los cuatro puntos, para adquirir datos de velocidad de viento mediante el anemómetro, se identificó el mayor potencial se encuentra a partir de las 12 o 13 horas hasta las 18 horas con velocidades de 6.2 a 9.2 m/s, con el método de Weibull se estimó a 3 metros de altura que existe una mayor probabilidad de frecuencia de vientos que están a una velocidad de 6 a 8 m/s, con un potencial de energía 234.1W/m² y a 30 metros de altura los vientos más frecuentes van de 8 a 12 m/s, con un potencial de 616.2 W/m² por área expuesta al viento.
2. Se realizó la recolección de datos de generación de voltaje en los cuatro puntos, gracias a la aplicación de un aerogenerador, controlador de aerogenerador, controlador de carga y una batería, por lo cual se identificó que la mayor generación de energía se encuentra a partir de 12 o 13 horas hasta las 18 horas, con voltaje que va de 0.5v a 1.5v, con fórmulas matemáticas se calculó la energía teórica en KWh con datos reales, a 3 metros de altura se obtuvo una producción de 11.71KWh y para 30 metros de altura se obtuvo 10 771.12KWh, se puede afirmar que si existe una generación eficiente de energía en pampas de Reque.
3. Se concluye, que la generación de energía eléctrica es eficiente mediante el aprovechamiento del potencial eólico en pampas de Reque, ya que se puede implementar a pequeña y gran escala esto ha sido comprobado gracias a los estudios realizados de identificación de potencial eólico y la generación de electricidad en el lugar.

VII. RECOMENDACIONES

1. Para la realización de un muestreo de velocidad de viento, para estudios a gran escala se debe implementar un centro de monitoreo de velocidad de viento con equipos adecuados por el lapso de un año, además los estudios a pequeña escala deben ser realizado con la implementación de anemómetro manual, el equipo siempre debe estar direccionado a donde gira el rotor del aerogenerador.
2. Cuando se quiera realizar la recolección de datos con aerogenerador a pequeña escala se recomienda importar sus equipos que tenga una baja velocidad de arranque, para su instalación se debe elegir un lugar donde exista poca rugosidad, por ende, se tendrá una mayor producción de energía.
3. Se recomienda, a las autoridades locales, regionales y nacionales competentes que deben formular proyectos de inversión pública sobre la implementación de energía eólica en pequeña y gran escala en pampas de Reque, ya que, en ésta área se identificó un gran potencial eólico para la generación de electricidad.

REFERENCIAS

ADEM, Bekir and HÜNER, Engin. Evaluation of wind energy potential: a case study. Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects [en línea]. 2022, no. 1. [Fecha de consulta:20 de mayo de 2022]. Disponible en <https://doi.org/10.1080/15567036.2020.1811810> - ISSN 1556-7036.

AHMAD, Jameel [et al]. Wind-to-Hydrogen Production Potential for Selected Sites in Pakistan [en línea]. 2021, vol. 9. [Fecha de consulta:20 de mayo de 2022]. Disponible en DOI 10.1109/ACCESS.2021.3116259 - ISSN 2169-3536.

ALQDAH, Khaled [et al]. Potential of wind energy in Medina, Saudi Arabia based on Weibull distribution parameters. Wind Engineering [en línea]. 2021 vol. 45, no. 6. [Fecha de consulta:22 de mayo de 2022]. Disponible en <https://doi.org/10.1177/0309524X211027356> - ISSN 0309-524X.

ARIAS, Jose. Métodos de Investigación Online Herramientas Digitales para Recolectar Datos [en línea]. Arequipa 2020. no. 1. [Fecha de consulta:22 de mayo de 2022]. Disponible en https://repositorio.concytec.gob.pe/bitstream/20.500.12390/2237/1/AriasGonzales_MetodosDeInvestigacionOnline_libro.pdf. - ISBN 978-612-00-5506-9.

ATLAS EÓLICO DEL PERÚ. Estudio para aprovechamiento eólico con fines energéticos y actualización del atlas eólico del Perú. [en línea]. 2016 [Fecha de consulta:26 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/cg00367.pdf>.

BOOPATHI, Kame [et al]. Assessment of wind power potential in the coastal region of Tamil Nadu, India. Ocean Engineering [en línea]. 2021. vol. 219. [Fecha de consulta:28 de mayo de 2022]. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2020.108356> - ISSN 00298018.

BYLL, Alonso. Aprovechamiento De Energía Eólica Para Mejorar La Calidad De Vida En El Centro Poblado De Licua Alta, Amarilis Huanuco [en línea]. Universidad de Huánuco, 2019 [Fecha de consulta:29 de mayo de 2022]. Disponible en file:///C:/Users/HP/Downloads/ALONSO BERNARDO, Byll Brey (1).pdf.

CASTILLO, Renato. Análisis De Las Características De Viento Y Evaluación Del Potencial Eólico Disponible En Los Valles De Chao, Virú Y Moche, Como Fuente Renovable De Generación De Energía-Universidad Nacional De Trujillo [en línea]. 2019. [Fecha de consulta: 27 de mayo de 2022]. Disponible en <https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/13369/RENATO%20ANDRE%20CASTILLO%20N%20EZ%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

CHACKO, Neethu. Exploring the Offshore Wind Resource Potential of India Based on Remotely Sensed Wind Field Data. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing* [en línea]. 2022. [Fecha de consulta: 26 de mayo de 2022]. Disponible en <https://doi.org/10.1007/s12524-022-01550-7> - ISSN 0255-660X.

DICCIONARIO DE LA LENGUA ESPAÑOLA. Plataforma digital de La Real Academia Española [en línea]. 2022. [Fecha de consulta: 8 de junio de 2022]. Disponible en <https://dle.rae.es/diccionario>.

DÜZCAN, Abdullah and KARA, Yusuf. Assessment of wind energy potential: a case study. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects* [en línea]. 2021. pp. 1–15 [Fecha de consulta: 25 de mayo de 2022]. Disponible en <https://doi.org/10.1080/15567036.2021.1903119> - ISSN 1556-7036.

ERASO, Francisco [et al]. Metodología para la determinación de características del viento y evaluación del potencial de energía eólica en Túquerres - Nariño [en línea]. 2017. pp. 31. [Fecha de consulta: 22 de junio de 2022]. Disponible en <http://www.scielo.org.co/pdf/cient/n31/2344-8350-cient-31-00019.pdf>

ESCOBAR, Steve. Medición del potencial recurso eólico en los distritos de Huancavelica, Paucarbamba, Pampas, Acobamba y Lircay. *Ciencia & Desarrollo* [en línea]. 2020. no. 27. [Fecha de consulta: 24 de junio de 2022]. Disponible <https://revistas.unjbg.edu.pe/index.php/cyd/article/view/1000> ISSN 2617-6033. DOI 10.33326/26176033.2020.27.1000.

FERNÁNDEZ, Pedro. Manual de Energía Eólica [en línea]. Universidad de Cantabria, 2002. [Fecha de consulta: 30 de mayo de 2022] Disponible en <https://www.exa.unne.edu.ar/fisica/maestria/modulo2/eolica/eolo12002.pdf>.

FRANK, Jenny [et al]. Assessing Indian Point's Electricity Generation Through Renewable Energy Pathways: A Technical and Economic Analysis. *Energy & Environment* [en línea]. 2022. [Fecha de consulta: 23 de mayo de 2022]. Disponible en <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0958305X221074728> - ISSN 0958-305X.

GALLO, Angel. Análisis predictivo para minería de datos y proyección a corto plazo de la demanda de potencia en el sistema eléctrico ecuatoriano, Escuela Politécnica Nacional [en línea]. 2020. [Fecha de consulta: 21 de junio de 2022]. Disponible en <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/21303>

GAMARRA, Jorge. Dimensionamiento de un sistema híbrido eólico fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica del centro poblado Siete Techos ubicado en el distrito de Reque- Chiclayo - Lambayeque [en línea]. 2019. [Fecha de consulta: 26 de junio de 2022]. Disponible en <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/4538>

GAO, Xiaoxia [et al]. Analysis of Hong Kong's Wind Energy: Power Potential, Development Constraints, and Experiences from Other Countries for Local Wind Energy Promotion Strategies. Sustainability [en línea]. 2019. no. 3. [Fecha de consulta: 23 de mayo de 2022]. Disponible en <https://doi.org/10.3390/su11030924> ISSN 2071-1050.

GONZÁLES, Antonio. Cuaderno de trabajo de tecnología industrial I. [en línea]. 2015 [Fecha de consulta: 25 de junio de 2022]. Disponible en <https://iesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com/2015/09/cuaderno-de-tecnologia-industrial-i-2015.pdf>

HERNÁNDEZ, Roberto, FERNANDEZ, Carlos y BAPTISTA, María. Metodología de la Investigación Científica [en línea]. Mexico, 2017. vol. 6. [Fecha de consulta: 02 de junio de 2022] Disponible en <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>.

HULSHORST, Walter. Manual Práctico de evaluación de una instalación de energía eólica a pequeña escala [en línea]. Universidad Politécnica de Madrid, 2019. [Fecha de consulta: 20 de junio de 2022] Disponible en <https://www.coursehero.com/file/41855031/manual-practico-energia-eolicapdf/>

HURTADO, Luis y NOVOA, Jorge. Uso eficiente de la energía eólica para mejorar la calidad de vida en el Distrito de Reque, Chiclayo [en línea]. 2021. pp. 116 [Fecha de Consulta: 22 junio de 2022]. Disponible en <https://hdl.handle.net/20.500.12692/86284>

HUSSAIN, Mazhar [et al]. Wind Power Integration: An Experimental Investigation for Powering Local Communities [en línea]. 2019. [Fecha de consulta: 29 de mayo de 2022] Disponible en <https://doi.org/10.3390/en12040621>

IBRAHIM, Marwa. Electricity production and comparative analysis for wind availability power potential assessment at four sites in Egypt. Wind Engineering [en línea]. 2022. no. 3. [Fecha de consulta: 27 de mayo de 2022] Disponible en <https://doi.org/10.1177/0309524X211044508-ISSN 0309-524X>.

KASSEM, Youssef, GÖKÇEKUŞ, Huseyin. and JANBEIN, Wassim. Predictive model and assessment of the potential for wind and solar power in Rayak region, Lebanon. Modeling Earth Systems and Environment [en línea]. 2021. no. 3. [Fecha de consulta: 27 de mayo de 2022] Disponible en <https://doi.org/10.1007/s40808-020-00866-y-ISSN 2363-6203>

KHAJAH, Ali y PHILBIN, Simon. Análisis tecnoeconómico y modelización de la viabilidad de la energía eólica en Kuwait [en línea]. 2022. [Fecha de consulta: 24 de mayo de 2022] Disponible en <https://www.mdpi.com/2571-8797/4/1/2>

Li, Han and WU, Lin. Analysis of financial support efficiency for China's wind power industry. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy* [en línea]. 2016 no. 11. [Fecha de consulta: 22 de mayo de 2022] Disponible en <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15567249.2016.1185480> - ISSN 1556-7249.

LOZADA, José. Investigación Aplicada: Definición, Propiedad Intelectual e Industria. [en línea]. 2014. [Fecha de consulta: 04 de junio de 2022]. Disponible en <http://cienciamerica.uti.edu.ec/openjournal/index.php/uti/article/view/30>.

MARADIN, Dario, CERVIĆ, Ljerka and ŠEGOTA, Alemka. The efficiency of wind power companies in electricity generation. *Energy Strategy Reviews* [en línea]. 2021. [Fecha de consulta: 15 de junio de 2022]. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.esr.2021.100708> - ISSN 2211467X

MENDOZA, Esther. Potencial de la energía eólica para la generación de electricidad y su relación con el cambio climático, en la Comunidad Campesina de Huaraucaca, Distrito de Tinyahuarco, Provincia de Pasco-Universidad Nacional Daniel Alcides Carrion [en línea]. 2018. [Fecha de consulta: 23 de junio de 2022]. Disponible en [http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/905/1/Final tesis Esther.pdf](http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/905/1/Final%20tesis%20Esther.pdf).

MUR, Joaquín. Master Europeo en Energías Renovables y Eficiencia Energética [en línea]. 2003 [Fecha de consulta: 18 de junio de 2022]. Disponible en <https://www.windygrid.org/manualEolico.pdf>.

AL-WESABI, Fahd [et al]. Analysis and Assessment of Wind Energy Potential of Al-Hodeidah in Yemen. *Computers, Materials & Continua* [en línea]. 2021. no. 2. [Fecha de consulta: 20 de junio de 2022]. Disponible en <https://doi.org/10.32604/cmc.2021.018644> - ISSN 1546-2226.

OMEGA. Instrumentos para medición del viento. [en línea]. 2022. [Fecha de consulta: 29 de junio de 2022]. Disponible en [https://mx.omega.com/prodinfo/anemometros.html#:~:text=Un anemómetro es un instrumento, confinados%2C como un viento atmosférico.](https://mx.omega.com/prodinfo/anemometros.html#:~:text=Un%20anemómetro%20es%20un%20instrumento,%20confinados%20como%20un%20viento%20atmosférico.)

OSINERGMIN. Energías Renovables Experiencia Y Perspectivas En La Ruta Del Perú Hacia La Transición Energética [en línea]. 2019 pp. 143. [Fecha de consulta: 24 de junio de 2022]. Disponible en [https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_ Economicos/Libros/Osinergmin-Energias-Renovables-Experiencia Perspectivas.pdf](https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Libros/Osinergmin-Energias-Renovables-Experiencia%20Perspectivas.pdf).

OSINERGMIN. Conoce cómo ahorrar energía eléctrica en tu hogar [en línea]. 2014 pp. 3 [Fecha de consulta: 02 de diciembre de 2022]. Disponible en [https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Folleteria/5%20Quiere s%20saber%20cuanto%20consumen%20tus%20artefactos.pdf](https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Folleteria/5%20Quiere%20saber%20cuanto%20consumen%20tus%20artefactos.pdf)

RABBANI, R. and ZEESHAN, M. Exploring the suitability of MERRA-2 reanalysis data for wind energy estimation, analysis of wind characteristics and energy potential assessment for selected sites in Pakistan. *Renewable Energy* [en línea]. 2020. [Fecha de consulta: 18 de mayo de 2022]. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.03.100> - ISSN 09601481.

RAE, Gordon. and ERFORT, Gareth. Offshore wind energy South Africa's untapped resource. *Journal of Energy in Southern Africa* [en línea]. 2020 no. 4 [Fecha de consulta: 17 de mayo de 2022]. Disponible en <https://doi.org/10.17159/2413-3051/2020/v31i4a7940> - ISSN 2413-3051.

REHMAN, Shafiqur [et al]. Assessment of wind energy potential across varying topographical features of Tamil Nadu, India. *Energy Exploration & Exploitation* [en línea]. 2020. no. 1 [Fecha de consulta: 16 de mayo de 2022]. Disponible en <https://doi.org/10.1177/0144598719875276> - ISSN 0144-5987

SALAM, M [et al]. Investigation of wind energy potentials in Brunei Darussalam. *Frontiers in Energy* [en línea]. 2019 no. 4 [Fecha de consulta: 16 de mayo de 2022]. Disponible en <https://doi.org/10.1007/s11708-018-0528-4> - ISSN 2095-1701.

SOSSO, Mayi, ANYOUZO'O, Daniel and NDACHIGAM, Angnissoun. Numerical Study of the Power Range of Wind Devices Adapted to the Wind Potential of the Coastal Region of Cameroon. *International Journal of Renewable Energy Research* [en línea]. 2020 no. 3 [Fecha de Consulta: 16 mayo de 2022]. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/344366461_Numerical_Study_Of_The_Power_Range_Of_Wind_Devices_Adapted_To_The_Wind_Potential_Of_The_Coastal_Region_Of_Cameroon

SOULOUKNGA, M [et al]. Analysis of wind speed data and wind energy potential in Faya-Largeau, Chad, using Weibull distribution. *Renewable Energy* [en línea]. 2018 [Fecha de Consulta: 19 mayo de 2022]. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.01.002> - ISSN 09601481

TARRILLO, Jhosep. Aprovechamiento De Los Recursos Solar Y Eolico Para Suministrar Energia Electrica Al Caserio Sandoval Y Vallejo Del Distrito De Motupe – Lambayeque-Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo [en línea]. 2019. pp.147 [Fecha de Consulta: 26 mayo de 2022]. Disponible en <https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/5716/BC-4152>
TARRILLO DÍAZ.pdf

VARGAS, Soraida [et al]. Wind power generation: A review and a research agenda. *Journal of Cleaner Production* [en línea]. 2019 [Fecha de Consulta: 20 mayo de 2022]. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.015> - ISSN 09596526.

WAEWSAK, Jompob [et al]. Wind Resource Assessment of the Southernmost Region of Thailand Using Atmospheric and Computational Fluid Dynamics Wind Flow Modeling. *Energies* [en línea]. 2019. no. 10 [Fecha de Consulta: 17 mayo de 2022]. Disponible en <https://doi.org/10.3390/en12101899> - ISSN 1996-1073.

ZEGEYE, Addisu. Wind resource assessment and wind farm modeling in Mossobo-Harena area, North Ethiopia. *Wind Engineering* [en línea]. 2021. no. 3 [Fecha de Consulta: 17 mayo de 2022]. Disponible en <https://doi.org/10.1177/0309524X20925409> - ISSN 0309-524X.

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de Operacionalización de variables

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala
Variable Independiente: Potencial Eólico	Es la velocidad con la que fluye el viento de un área de alta presión a la inversa, lo cual hace que sea aprovechable para generar energía eléctrica, también se dice que son las zonas preferentes para la futura exploración in situ y que serían de interés para la instalación de aerogeneradores o parques eólicos. (Atlas Eólico del Peru, 2016)	Para poder identificar el potencial eólico se eligió cuatro puntos de muestreo en pampas de Reque, gracias al anemómetro y la ficha de recolección de datos se anotó las velocidades del viento durante 5 días en cada punto, en un intervalo de tiempo de 10-18 horas.	Energía cinética del viento	Velocidad del viento (m/s)	Razón
Variable Dependiente: Generación de energía eléctrica	La producción de energía eléctrica se define que es la transformación de un tipo de energía que existe en la tierra que mediante un sistema pasa a ser energía eléctrica, las principales fuentes tenemos: la nuclear, hidráulica, eólica, solar, química y térmica. (Osinergmin, 2019)	La energía cinética del viento es captada con las palas del aerogenerador convirtiéndole en energía eléctrica aprovechable, siendo registrado con el controlador de carga. La potencia y energía estimada fueron calculados con fórmulas matemáticas y estadísticas con el software Excel.	Energía almacenada	Voltios (v)	Razón
			Potencia estimada	Whatts(w)	Razón
			Energía estimada	kilowatt(KWh) (KWh/m2)	Razón

Fuente: Elaboración propia

Anexo 2: Ficha de recolección de datos

FICHA DE RECOLECCION DE DATOS		
PROYECTO:	Aprovechamiento del potencial eólico para generar energía eléctrica en pampas de Reque, Chiclayo-2022	
PUNTO:		
COORDENADAS:		
FECHA:		
ENCARGADOS:	Aldaz Gomez, Luis Jarly Lopez Bustamante, Jerly Yonil	
HORA	VELOCIDAD DE VIENTO (m/s)	GENERACION DE ENERGIA (v)
10:00 a.m.-11:00 p.m.		
11:00 p.m.-12:00 p.m.		
12:00 p.m.-01:00 p.m.		
01:00 p.m.-02:00 p.m.		
02:00 p.m.-03:00 p.m.		
03:00 p.m.-04:00 p.m.		
04:00 p.m.-05:00 p.m.		
05:00 p.m.-06:00 p.m.		

Fuente: Elaboración propia

Anexo 3: Equipos importados



Fuente: Elaboración propia

Anexo 4: Ubicación del proyecto



Fuente: Elaboración propia

Anexo 5: Armado de equipos



Fuente: Elaboración propia

Anexo 6: Muestreo punto 1



Fuente: Elaboración propia

Anexo 7: Muestreo punto 2



Fuente: Elaboración propia

Anexo 8: Muestreo punto 3



Fuente: Elaboración propia

Anexo 9: Muestreo punto 4



Fuente: Elaboración propia

Anexo 10: Medición de velocidad del viento



Fuente: Elaboración propia

Anexo 11: Medición de energía almacenada



Fuente: Elaboración propia

Anexo 12: Consumo de energía almacenada



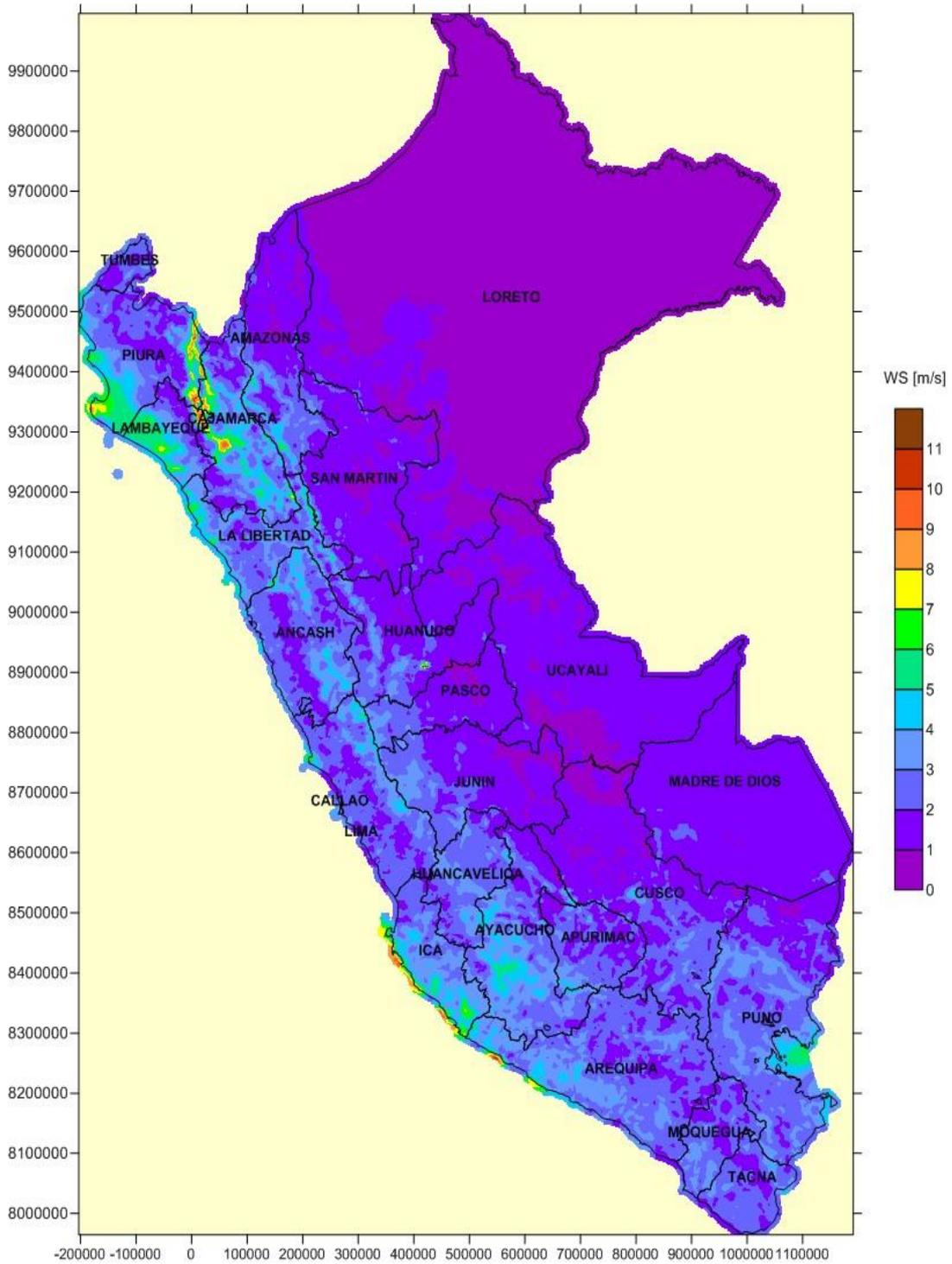
Fuente: Elaboración propia

Anexo 13: Utilización de la energía eólica

Artefacto	Potencia
Foco Led	5 watts
Foco comun	20 watts
celular	10 watts
Ventilador de escritorio	4 watts
Ventilador	50 watts
Afeitadora	15 watts
Reloj	2 watts
Radio	15 watts
DVD	20 watts
Equipo de sonido	80 watts
Televisor a color	120 watts
Laptop	200 watts
Licuada	300 watts
computadora	300 watts
Lavadora	500 watts

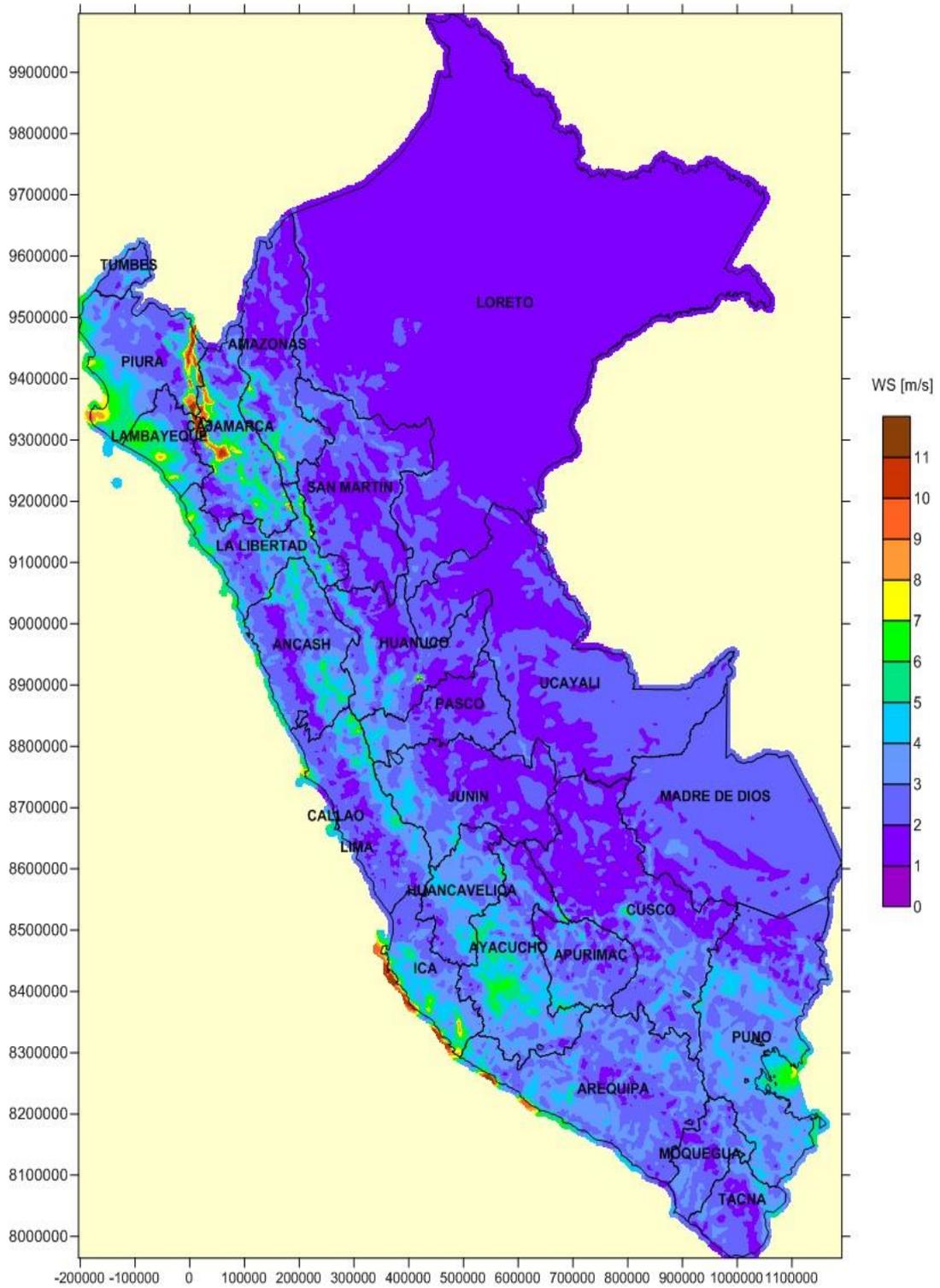
Fuente: Osinergmin (2014)

Anexo 14: Velocidad media anual del viento a 10 m



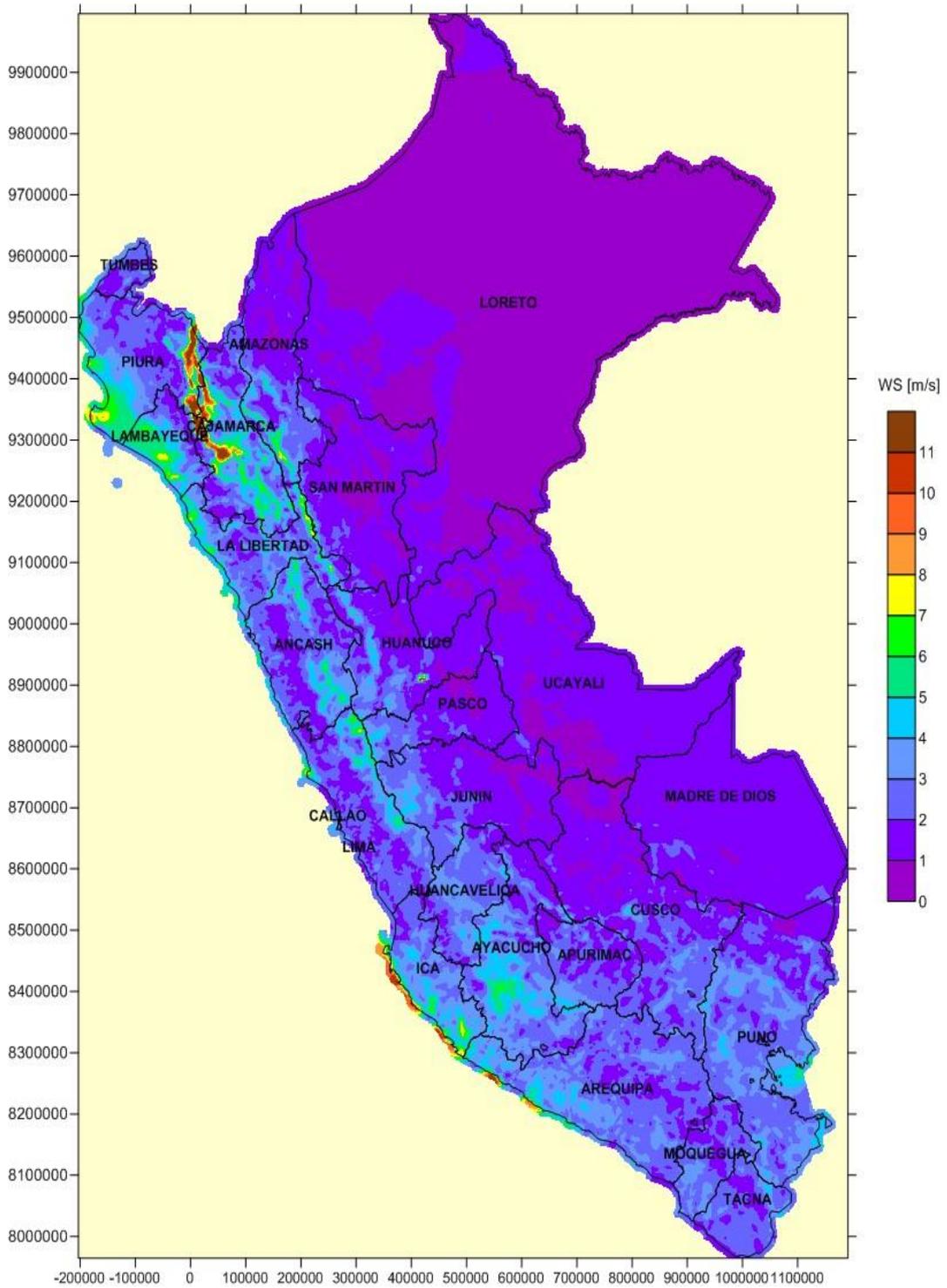
Fuente: Atlas Eólico del Perú (2016)

Anexo 15: Velocidad media anual del viento a 25 m



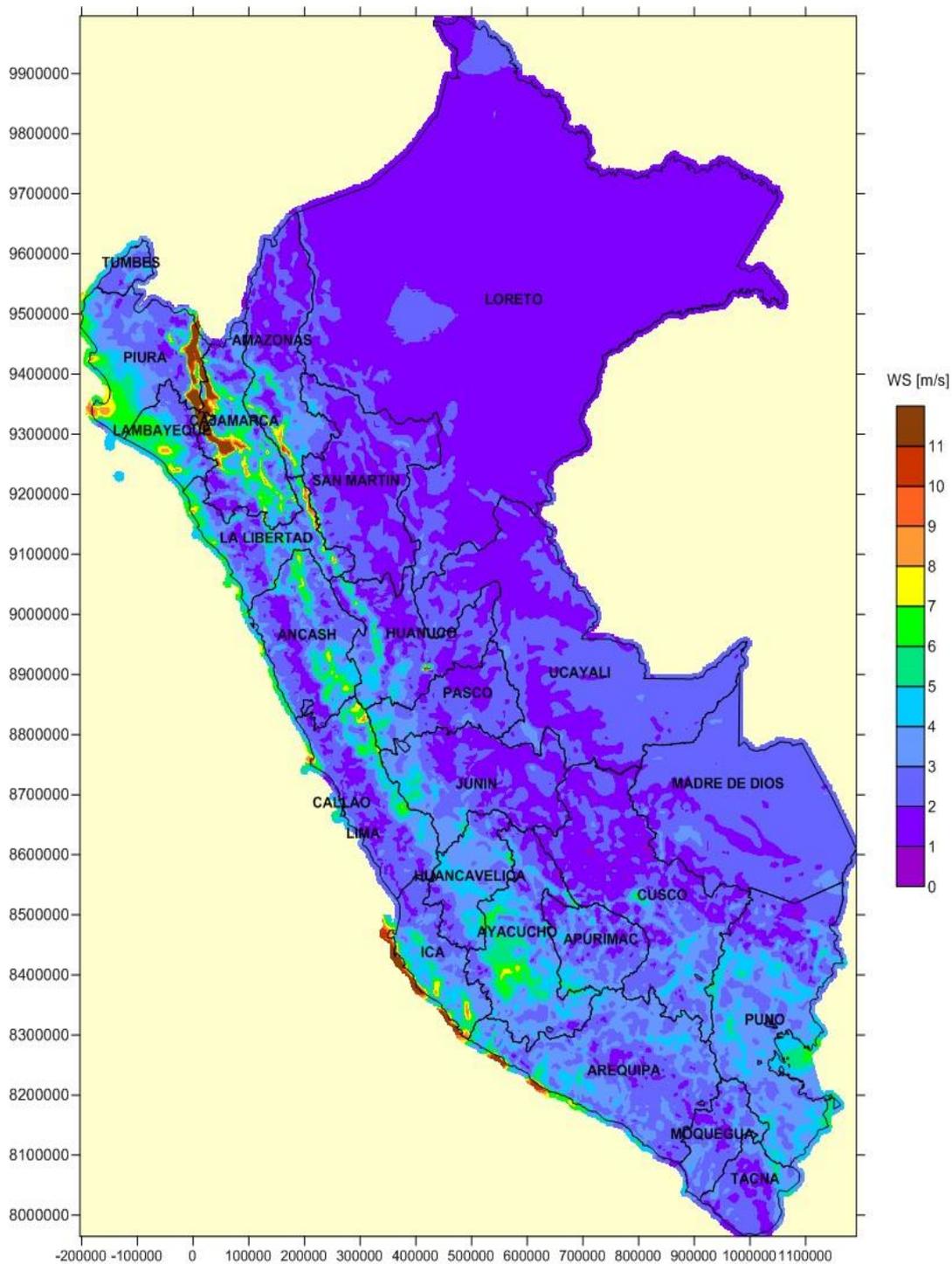
Fuente: Atlas Eólico del Perú (2016)

Anexo 16: Velocidad media del viento en septiembre a 10 m



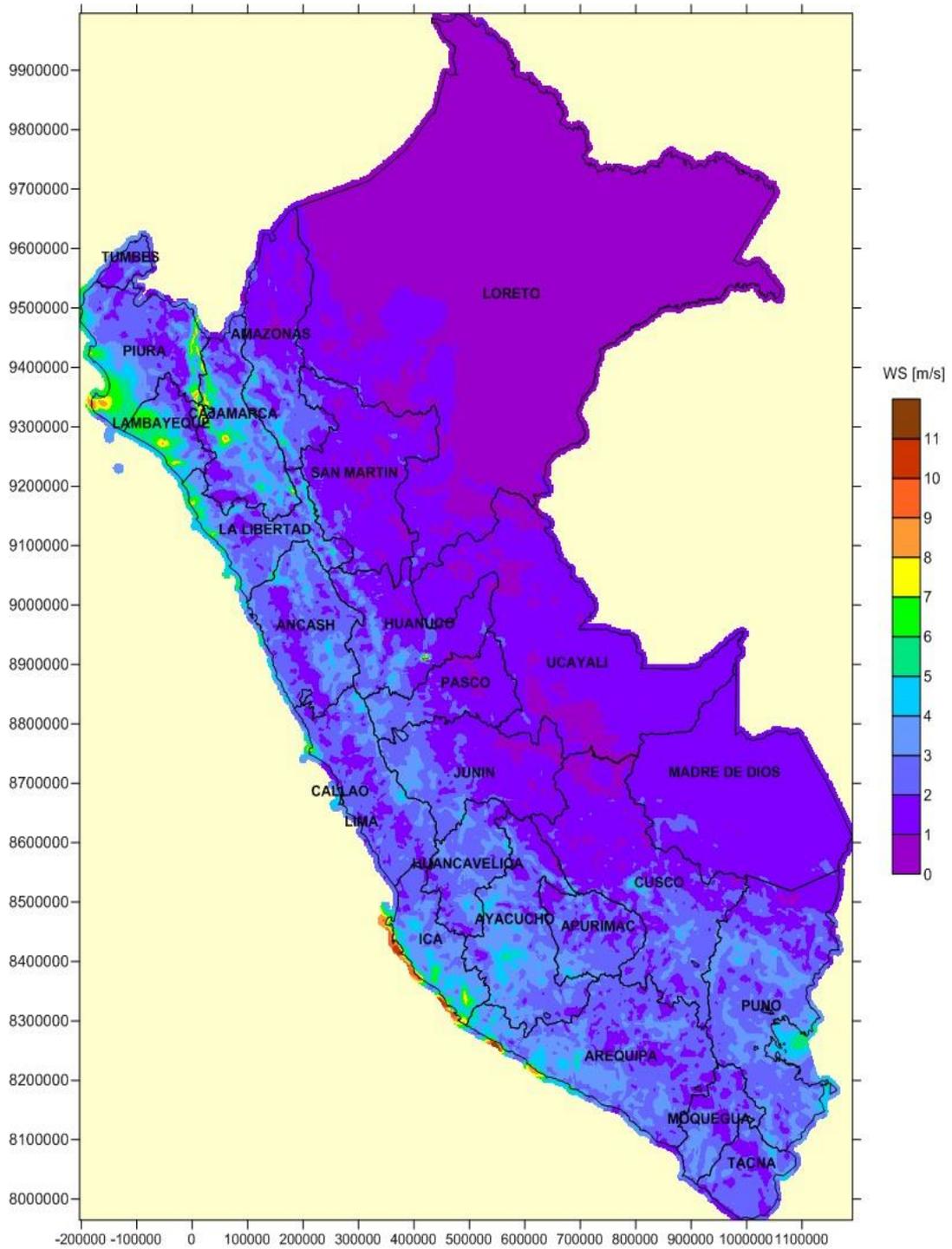
Fuente: Atlas Eólico del Perú (2016)

Anexo 17: Velocidad media del viento en septiembre a 25 m



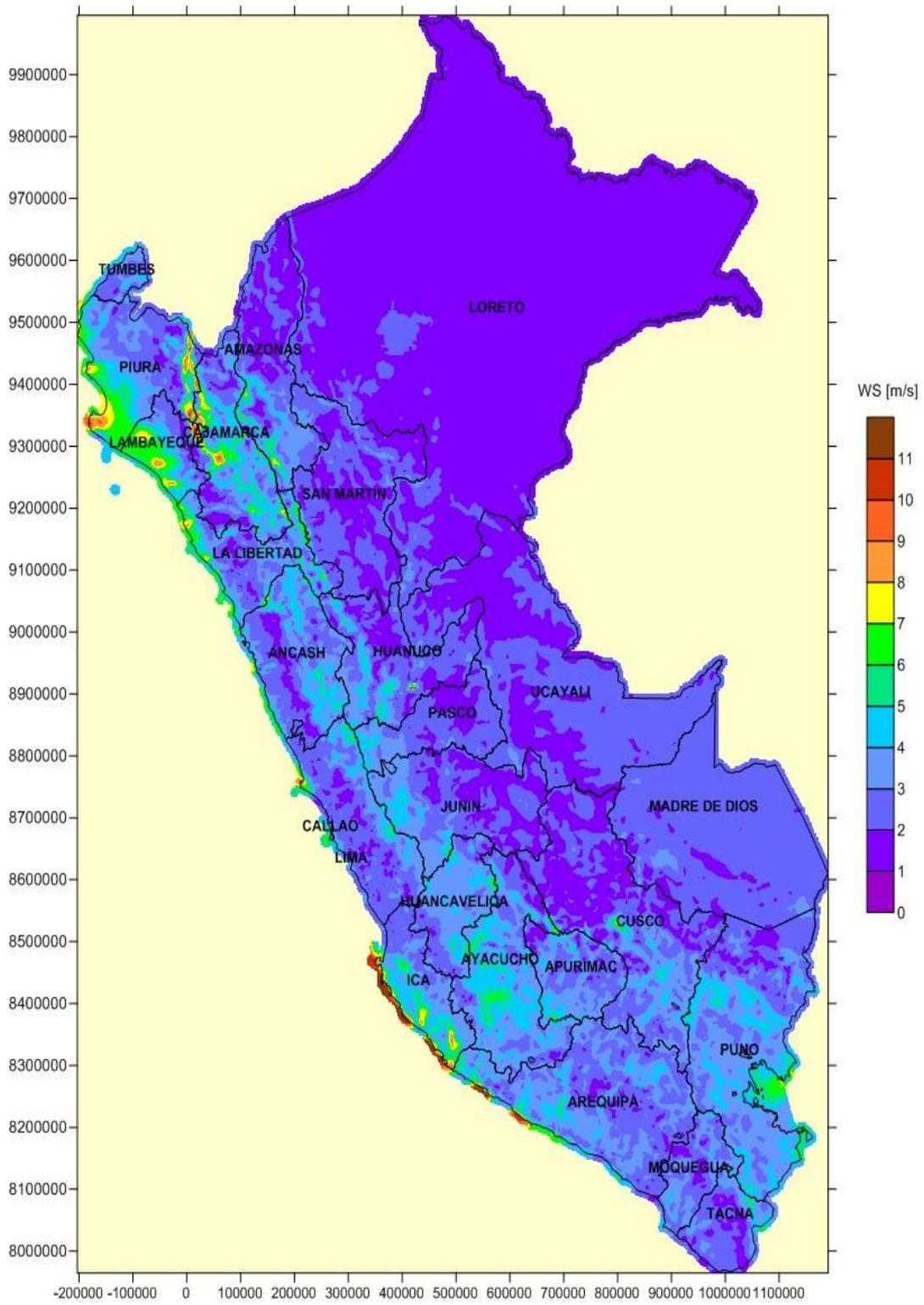
Fuente: Atlas Eólico del Perú (2016)

Anexo 18: Velocidad media del viento en octubre a 10 m



Fuente: Atlas Eólico del Perú (2016)

Anexo 19: Velocidad media del viento en octubre a 25 m



Fuente: Atlas Eólico del Perú (2016)



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, MONTEZA ARBULÚ CÉSAR AUGUSTO, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - CHICLAYO, asesor de Tesis titulada: "Aprovechamiento del potencial eólico para generar energía eléctrica en pampas de Reque, Chiclayo-2022", cuyos autores son LOPEZ BUSTAMANTE JERLY YONIL, ALDAZ GOMEZ LUIS JARLY, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 7.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

CHICLAYO, 10 de Noviembre del 2022

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
MONTEZA ARBULÚ CÉSAR AUGUSTO DNI: 16681280 ORCID: 0000-0003-2052-6707	Firmado electrónicamente por: MARBULUCA el 06- 12-2022 14:08:57

Código documento Trilce: TRI - 0438574