

# UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS

FACULTAD DE INGENIERÍAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



**TESIS**

**POTENCIAL DE LA ENERGÍA EÓLICA PARA LA GENERACIÓN DE  
ELECTRICIDAD Y SU IMPLICANCIA EN LA REDUCCIÓN DE EMISIONES DE  
CO<sub>2</sub> EN LA COMUNIDAD DE CUYURAYA - HUANCANE, 2023**

**PRESENTADA POR:**

**LEONEL ROYER HUANCA ARUQUIPA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO AMBIENTAL**

**PUNO – PERÚ**

**2024**



Repositorio Institucional ALCIRA by [Universidad Privada San Carlos](https://www.upsc.edu.pe/) is licensed under a [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



# 10.5%

SIMILARITY OVERALL

SCANNED ON: 10 APR 2024, 9:26 AM

## Similarity report

Your text is highlighted according to the matched content in the results above.

● IDENTICAL  
2.41%

● CHANGED TEXT  
8.09%

## Report #20670447

LEONEL ROYER HUANCA ARUQUIPA POTENCIAL DE LA ENERGÍA EÓLICA PARA LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD Y SU IMPLICANCIA EN LA REDUCCIÓN DE EMISIONES DE CO2 EN LA COMUNIDAD DE CUYURAYA - HUANCANE, 2023 RESUMEN La presente investigación tiene como objetivo determinar el potencial de la energía eólica, para la generación de electricidad y su implicancia en la reducción de CO2 en la comunidad de Cuyuraya - Huancané durante el año 2023, para lograr ésto se ha realizado mediciones durante los meses de octubre a diciembre, utilizando un anemómetro de mano y una veleta para determinar la dirección del viento, para el cálculo de la equivalencia del CO2 se ha utilizado una aplicación en línea denominado CeroCO2 , ONG que junta con otras están a la vanguardia del cálculo de éste tipo de información; obteniendo como resultados que el potencial de energía eólica en la comunidad de Cuyuraya, para la generación de electricidad, utilizando un aerogenerador de marca Wind Power modelo RC-500 y teniendo como fuente una velocidad media del viento igual a 22.58 [m/s] se ha obtenido un valor promedio de potencial de energía eólica igual a 9,440 [W/m2], debe de agregarse a la anterior conclusión que la dirección del viento calculada es de Este a Oeste y viceversa, ésto se debe a que geográficamente ésta condición viene influenciada por la cercanía del Lago Titicaca; además la relación entre la emisión de CO2 y la generación de electricidad con el uso de energía convencional en

**UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS**  
**FACULTAD DE INGENIERÍAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**  
**TESIS**  
**POTENCIAL DE LA ENERGÍA EÓLICA PARA LA GENERACIÓN DE**  
**ELECTRICIDAD Y SU IMPLICANCIA EN LA REDUCCIÓN DE EMISIONES DE**  
**CO<sub>2</sub> EN LA COMUNIDAD DE CUYURAYA - HUANCANE, 2023**  
**PRESENTADA POR:**  
**LEONEL ROYER HUANCA ARUQUIPA**  
**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**  
**INGENIERO AMBIENTAL**

APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:

PRESIDENTE

:

  
Dr. ESTEBAN ISIDRO LEON APAZA

PRIMER MIEMBRO

:

  
Mg. JULIO WILFREDO CANO OJEDA

SEGUNDO MIEMBRO

:

  
Dra. MILDER ZANABRIA ORTEGA

ASESOR DE TESIS

:

  
M.Sc. FREDY APARICIO CASTILLO SUAQUITA

Área: Ingeniería y Tecnología.

Sub Área: Ingeniería Ambiental.

Línea de Investigación: Ingeniería del petróleo, energía y combustibles.

Puno, 12 de abril del 2024.

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios por darme la fuerza necesaria, a mi madre Benita, pues sin ella no lo habría logrado. Tu bendición a diario a lo largo de mi vida me protege y me lleva por el camino del bien. Por eso te doy mi trabajo en ofrenda por tu paciencia y amor madre mía, te amo.

Dedico también esta tesis a Lorena mi futura esposa y madre de hija por que siempre estuvo para mi en la elaboración de esta tesis. Eres mi amor, mi fuerza y mi ilusión, deseo una larga vida a tu lado, porque eres una mujer especial y maravillosa.

Dedico también mi trabajo a mi hija Zoe Valentina, posiblemente en este momento no entiendas mis palabras, pero para cuando seas capaz, quiero que te des cuenta de lo que significas para mi. Eres la razón de que me levanto cada día a esforzarme por el presente y por el mañana, eres mi principal motivación.

Dedico esta tesis a mi familia, por que son lo más sagrado que tengo en la vida, por ser siempre mis principales motivadores y los formadores de lo que ahora soy como persona, sin ustedes sus consejos, su amor y su cariño yo no habría llegado hasta donde estoy.

Gracias mamita, hermanos, abuelitos, suegros y tíos, los quiero mucho.

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Privada San Carlos – Puno, por acogerme como mi segundo hogar donde recibí las enseñanzas impartidas por los diferentes docentes en los años de estudios, donde se me permitió alcanzar uno de mis objetivos más anhelados.

A la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental por brindarme los conocimientos impartidos en los diferentes años de estudios cursados.

A mi asesor M.Sc. Fredy Aparicio Castillo Suaquita por su compromiso, paciencia y enseñanza incondicional para lograr la elaboración del presente trabajo de investigación

Agradecer a mis jurados:

- Dr. Esteban Isidro LEON APAZA,
- Mg. Julio Wilfredo CANO OJEDA
- Dra. Milder ZANABRIA ORTEGA,

Por todos sus aportes para mejorar mi trabajo de investigación.

Agradezco a los dirigentes y habitantes de la comunidad de Cuyuraya, por brindarme las facilidades para el desarrollo de mi trabajo de investigación en sus terrenos, por el permiso y la confianza otorgada en el acceso a las zonas de todos sus espacios.

## ÍNDICE GENERAL

	<b>Pág.</b>
DEDICATORIA	1
AGRADECIMIENTOS	2
ÍNDICE GENERAL	3
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	7
INDICE DE ANEXOS	8
RESUMEN	9
ABSTRACT	10
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>11</b>

### CAPÍTULO I

#### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

<b>1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	<b>12</b>
1.1.1. Problema General.	13
1.1.2. Problemas Específicos.	13
<b>1.2. ANTECEDENTES</b>	<b>13</b>
1.2.1. Antecedentes Internacionales.	13
1.2.2. Antecedentes Nacionales.	15
1.2.3. Antecedentes Locales.	17
<b>1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN</b>	<b>18</b>
1.3.1. Objetivo general.	18
1.3.2. Objetivos específicos.	18

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

<b>2.1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL</b>	<b>19</b>
2.1.1. El Viento.	19
2.1.2. Circulación del Viento.	20
2.1.3. La Energía Eólica	22
2.1.4. Potencia eólica disponible.	22
2.1.5. Potencia eólica aprovechable.	22
2.1.6. Parámetros representativos del potencial eólico.	23
2.1.7. Emisiones de CO2 por utilización de combustibles fósiles.	24
2.1.8. Emisiones de Gases de Efecto Invernadero.	25
2.1.9. Estándar GHG y el ISO 14064-1.2, para los tipos de Emisiones.	25
<b>2.2. MARCO CONCEPTUAL</b>	<b>26</b>
<b>2.3. MARCO NORMATIVO</b>	<b>26</b>
<b>2.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN.</b>	<b>27</b>
2.4.1 HIPÓTESIS GENERAL.	27
2.4.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICAS.	27

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

<b>3.1. ZONA DE ESTUDIO</b>	<b>28</b>
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA.	29
3.3. MÉTODOS Y TÉCNICAS	31
3.3.1. Tipo de Investigación.	31
3.3.2. Diseño de la Investigación.	31
3.3.3. Metodología de Desarrollo de la Investigación	31
<b>3.4. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.</b>	<b>33</b>

<b>3.5. MÉTODO O DISEÑO ESTADÍSTICO</b>	<b>33</b>
<b>CAPÍTULO IV</b>	
<b>EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS</b>	
<b>4.1. RESPECTO AL PRIMER OBJETIVO ESPECÍFICO.</b>	<b>34</b>
<b>4.2. RESPECTO AL SEGUNDO OBJETIVO ESPECÍFICO.</b>	<b>44</b>
<b>4.3. PROCESO DE LA PRUEBA DE HIPÓTESIS.</b>	<b>46</b>
<b>4.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.</b>	<b>48</b>
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>49</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>50</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.</b>	<b>51</b>
<b>XI. ANEXOS.</b>	<b>53</b>



## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
<b>Tabla 01.</b> Operacionalización de variables de investigación.	<b>33</b>
<b>Tabla 02.</b> Tabla de frecuencia para el mes de octubre de 2023.	<b>34</b>
<b>Tabla 03.</b> Estadísticos descriptivos para el mes de octubre de 2023.	<b>35</b>
<b>Tabla 04.</b> Tabla de frecuencia para el mes de noviembre de 2023.	<b>36</b>
<b>Tabla 05.</b> Estadísticos descriptivos para el mes de noviembre de 2024.	<b>37</b>
<b>Tabla 06.</b> Tabla de frecuencia para el mes de diciembre de 2023	<b>38</b>
<b>Tabla 07.</b> Estadísticos descriptivos para el mes de diciembre de 2023.	<b>39</b>
<b>Tabla 08.</b> Características del aerogenerador seleccionado marca Wind Power modelo RC-500.	<b>43</b>
<b>Tabla 09.</b> Potencial eólico de la comunidad de Cuyuraya.	<b>44</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
<b>Figura 01.</b> Capas de la Atmósfera.	<b>20</b>
<b>Figura 02.</b> Circulación local del viento, durante el día	<b>21</b>
<b>Figura 03.</b> Circulación local del viento, durante la noche.	<b>21</b>
<b>Figura 04:</b> Ubicación del Distrito de Huancané en el mapa del departamento de Puno.	<b>29</b>
<b>Figura 05:</b> Ubicación del C.P. de Cuyuraya en el distrito de Huancané.	<b>30</b>
<b>Figura 06:</b> Ubicación del punto donde se realizará la recopilación de los datos metereológicos.	<b>31</b>
<b>Figura 07.</b> Histograma de las frecuencias para la velocidad del viento en el mes de octubre de 2023.	<b>35</b>
<b>Figura 08.</b> Histograma de las frecuencias para la velocidad del viento en el mes de noviembre de 2023.	<b>37</b>
<b>Figura 09.</b> Histograma de las frecuencias para la velocidad del viento en el mes de diciembre de 2023.	<b>39</b>
<b>Figura 10.</b> Rosa de vientos para el mes de octubre de 2023.	<b>40</b>
<b>Figura 11.</b> Rosa de vientos para el mes de noviembre de 2023	<b>41</b>
<b>Figura 12.</b> Rosa de vientos para el mes de diciembre de 2023.	<b>42</b>
<b>Figura 13.</b> Resultados de la calculadora en línea para determinar el CO <sub>2</sub> equivalente al consumo eléctrico.	<b>45</b>

## INDICE DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
<b>Anexo 01.</b> Ficha de recolección de datos para medir la velocidad y dirección del viento.	<b>54</b>
<b>Anexo 02.</b> Tabulación de datos, en el software Microsoft Excel - mes de octubre de 2023.	<b>55</b>
<b>Anexo 03.</b> Tabulación de datos, en el software Microsoft Excel - mes de noviembre de 2023.	<b>56</b>
<b>Anexo 04.</b> Tabulación de datos, en el software Microsoft Excel - mes de diciembre de 2023.	<b>57</b>
<b>Anexo 05.</b> Agrupación en 7 clases de los datos, de los meses de octubre a diciembre de 2023, en el software SPSS.	<b>58</b>
<b>Anexo 06.</b> Ficha Técnica de Aerogeneradores Horizontales.	<b>59</b>
<b>Anexo 07.</b> Recibo de Electro Puno S.A. del consumo de energía eléctrica en Cuyuraya.	<b>60</b>
<b>Anexo 08.</b> Matriz de investigación.	<b>61</b>

## RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo determinar el potencial de la energía eólica, para la generación de electricidad y su implicancia en la reducción de CO<sub>2</sub> en la comunidad de Cuyuraya - Huancané durante el año 2023, para lograr esto se ha realizado mediciones durante los meses de octubre a diciembre, utilizando un anemómetro de mano y una veleta para determinar la dirección del viento, para el cálculo de la equivalencia del CO<sub>2</sub> se ha utilizado una aplicación en línea denominado CeroCO<sub>2</sub>, ONG que junta con otras están a la vanguardia del cálculo de este tipo de información; obteniendo como resultados que el potencial de energía eólica en la comunidad de Cuyuraya, para la generación de electricidad, utilizando un aerogenerador de marca Wind Power modelo RC-500 y teniendo como fuente una velocidad media del viento igual a 22.58 [m/s] se ha obtenido un valor promedio de potencial de energía eólica igual a 9,440 [W/m<sup>2</sup>], debe de agregarse a la anterior conclusión que la dirección del viento calculada es de Este a Oeste y viceversa, esto se debe a que geográficamente esta condición viene influenciada por la cercanía del Lago Titicaca; además la relación entre la emisión de CO<sub>2</sub> y la generación de electricidad con el uso de energía convencional en la comunidad de Cuyuraya, ha resultado en una relación directa y proporcional entre ambas variables, con un factor de proporción igual a 0.41, la medida realizada ha sido calculado en base al recibo de consumo de energía eléctrica de los miembros de la comunidad.

**Palabra clave:** Emisiones de CO<sub>2</sub>, Potencial eólico, Velocidad del viento

## ABSTRACT

The objective of this research is to determine the potential of wind energy for the generation of electricity and its implication in the reduction of CO<sub>2</sub> in the community of Cuyuraya - Huancané during the year 2023. To achieve this, measurements have been carried out during the months of October to December, using a hand-held anemometer and a weather vane to determine the direction of the wind, an online application called CeroCO<sub>2</sub> has been used to calculate the CO<sub>2</sub> equivalence, an NGO that together with others is at the forefront of calculating this type of information; obtaining as results that the potential of wind energy in the community of Cuyuraya, for the generation of electricity, using a Wind Power brand wind turbine model RC-500 and having as a source an average wind speed equal to 22.58 [m/s] is has obtained an average value of wind energy potential equal to 9,440 [W/m<sup>2</sup>], it must be added to the previous conclusion that the calculated wind direction is from East to West and vice versa, this is because geographically this condition is influenced due to the proximity of Lake Titicaca; Furthermore, the relationship between the emission of CO<sub>2</sub> and the generation of electricity with the use of conventional energy in the community of Cuyuraya has resulted in a direct and proportional relationship between both variables, with a proportion factor equal to 0.41, the measurement carried out has has been calculated based on the electricity consumption receipt of the members of the community.

**Keyword:** CO<sub>2</sub> emissions, Wind potential, Wind speed.

## INTRODUCCIÓN

El uso de las energías renovables, es una gran alternativa hoy en día, considerando que una fuente de energía convencional como: el petróleo y el gas, son agotables e insostenibles ambientalmente, contribuyendo al incremento de las emisiones de CO<sub>2</sub>.

La comunidad de Cuyuraya, perteneciente a la meseta del Collao, presenta extensiones amplias y ligeramente planas con cerros prominentes, se puede percibir el potencial eólico dentro de este espacio geográfico. El diagnóstico del potencial uso de energía eólica en la comunidad de Cuyuraya del distrito de Huancané, significa un precedente para nuevos estudios, además de ser empleado por la comunidad, como un claro y eficiente indicador del aprovechamiento del recurso del viento.

El desarrollo del presente documento lo hemos dividido en los siguientes apartados:

Capítulo I: Exponemos el problema citando información relevante relacionada a la investigación, luego citamos antecedentes de tipo internacional, nacional y del ámbito local, para al final citar los objetivos del presente trabajo.

Capítulo II: Desarrollamos cada uno de los términos que fundamentan el trabajo desarrollado, para ello se exponen el marco teórico y el conceptual y la normatividad nacional vigente, para al final mencionar las hipótesis de éste trabajo.

Capítulo III: Abarcamos el tema de la forma en la que se desarrolló la investigación a través de la metodología de investigación, presentamos la zona de estudio, la población y la muestra, y la parte estadística de éste trabajo.

Capítulo IV. En éste capítulo se exponen los resultados que se obtuvieron así como de la misma manera se terminan analizando e interpretando cada uno de ellos.

Por último terminamos el presente documento manifestando nuestras apreciaciones de los resultados obtenidos en las conclusiones y recomendamos el punto de vista que nos ofrece el haber realizado éste trabajo.

## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

#### 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En todo el mundo con el uso de energías renovables para la generación de electricidad, podremos contribuir a disminuir las emisiones de CO<sub>2</sub> y mitigar los impactos del cambio climático y sus consecuencias, además podremos mejorar la calidad de nuestro medio ambiente. Un reto que cada día se hace más interesante y factible de aplicar, no solo por el presente, sino por las generaciones futuras. Con el uso de energía convencional para la producción de energía eléctrica, no solo se tienen costos elevados en las tarifas, sino también altas cantidades de emisión de CO<sub>2</sub>, las cuales contribuyen negativamente al cambio climático. Las energías convencionales son un gran problema, no solo por su insostenibilidad ambiental, sino también porque con el tiempo se hacen más caras de explotar. Las energías no convencionales como la energía eólica, son limpias y sostenibles además de factibles.

Las energías renovables o también llamadas no convencionales o verdes, se encuentran en la naturaleza, en sus diversas formas, éstas son capaces de aprovechar el potencial natural como; viento, radiación solar, etc., transformándolos a través de ciertos procesos y utilización de equipos en energía eléctrica o mecánica. Éstas energías han sido útiles desde muchos años atrás y hoy también son y pueden ser muy útiles en espacios geográficos específicos.

La comunidad campesina de Cuyuraya en la provincia de Huancané, se encuentra en una zona cercana a la explotación minera. Así mismo desde el punto de vista energético, presenta dentro de su consumo altos niveles de consumo en KWH/año y costos elevados en comparación con otras comunidades campesinas, un inconveniente a la hora de querer instalar un componente de una energía renovable, es el poco conocimiento respecto a si ésta resultará o no. Sin embargo, actualmente se tienen diversos instrumentos, equipos y herramientas muchas de ellas basadas en software que nos pueden ayudar a determinar si realmente la energía eólica será factible o tiene un potencial uso en un determinada área geográfica.

#### **1.1.1. Problema General.**

¿Cuál es el potencial de la energía eólica, para la generación de electricidad y su implicancia en la reducción de CO<sub>2</sub> en la comunidad de Cuyuraya - Huancané, 2023?

#### **1.1.2. Problemas Específicos.**

- ¿Cuál es el potencial de energía eólica en la comunidad de Cuyuraya, para la generación de electricidad?
- ¿Cuál es la relación entre la emisión de CO<sub>2</sub> y la generación de electricidad con el uso de energía convencional en la comunidad de Cuyuraya?

### **1.2. ANTECEDENTES**

#### **1.2.1. Antecedentes Internacionales.**

Naranjo (2017) en su investigación denominada: "Potencial Eólico que está disponible del Sector de Río Blanco en el Cantón Ambato", ha utilizado el método analítico, con el fin de evaluar las variables que presenta el lugar de estudio tales como: velocidad del viento y su dirección mediante la torre de sustentación ubicada en lugar de estudio de propiedad del proyecto, cuyos aparatos de medición fueron colocados a 10, 20 y 30 metros de altura, de la cual se tomó datos durante un año y fueron procesados y analizados en este proyecto de investigación, obteniendo como resultado un potencial eólico disponible de 151,123 W/m<sup>2</sup> a 10 metros de altura , mientras que para una altura de 20 metros su



potencial es de  $147,327 \text{ W/m}^2$  y para una altura de 30 metros su potencial es de  $143,548 \text{ W/m}^2$ , con una dirección del viento predominante desde el Este. Por lo cual concluye en que: Las características de viento varían de acuerdo a la altura que se realice el análisis debido a factores de temperatura, relieve, obstáculos y rugosidad del terreno, estos factores hacen que el flujo de viento vaya en varias direcciones y disminuye su velocidad a menor altura y a mayor altura ocurre lo contrario.

Díaz (2018), en su investigación "Evaluación del potencial eólico para generar energía eléctrica para el aeropuerto Teterboro, en EE.UU", ha tenido como objetivo calcular el potencial eólico para todo un año y con éste resultado proponer un aerogenerador que genere energía eléctrica para el el aeropuerto Teterboro en el Estado de New Jersey, en el cálculo se han procesado las mediciones de viento que fueron obtenidos del sistema del aeropuerto del periodo 2017, la metodología aplicada fué la distribución de probabilidad de Weibull, llegando a calcular los valores de  $k$  y de escala  $c$  para el cálculo de la densidad de potencia eólica, de acuerdo al valor obtenido y por las características de la zona de estudio, se eligió el aerogenerador de marca Aeolos-V que produce 10 kW, equipo para el cual se ha calculado con una utilización de 8760 horas anuales se llegaría a producir 37194.954 kW de potencia.

Betanco (2019), en su tesis "Sistema eólico que provea energía eléctrica e impacto del desarrollo humano sostenible Segovias"; con el objetivo de crear un sistema eólico que pueda proveer de energía eléctrica en el municipio de San Nicolás de los años 2014 al 2030, se estudiaron 868 familias, evaluando el potencial del recurso eólico, creando una data de 40 meses de las estaciones ubicadas en los lugares "La Laguna" y "El Sesteo", los resultados obtenidos para la zona de San Nicolás donde la velocidad del viento alcanza los  $11.19 \text{ m/s}$ , y tiene potencial para generar energía, también se demostrado un efecto simultáneo de variables: sitio y velocidad, sitio y dirección del viento, para al final proponer un sistema eólico que produce 10 MW, con la utilización de 10 aerogeneradores de marca SIEMENS que producen 1MW.

### 1.2.2. Antecedentes Nacionales.

Reátegui (2018), en su investigación “Evaluar el potencial eólico para generar energía eléctrica”, el cual ha sido ejecutadas en la ciudad de Santa Victoria en Lamas, como metodología se ha basado en un proceso experimental de tipo transversal en el tiempo, como técnica se ha utilizado la encuesta que él mismo ha elaborado, obteniendo los resultados que le han permitido concluir que existe relación entre el potencial eólico y la generación de energía eléctrica para la zona.

Mendoza (2018), en su investigación de tipo descriptivo “Potencial de la energía eólica y su relación con el cambio climático” realizado en la Comunidad Campesina de Huaracaca en el departamento de Pasco, con datos meteorológicos y de consumo de electricidad de la zona del año 2017, se calculó que la velocidad del viento fue en promedio de 8.149 m/s predominante en la dirección de sur a norte, la propuesta del aerogenerador fué el modelo alemán BLACK 300, estimando que el potencial eólico sería de 347.57 W/m<sup>2</sup>, siendo la densidad anual del viento igual a 3044.7 KWh/m<sup>2</sup>/año; además con los datos obtenidos de Electrocentro S.A. se calculó el consumo de electricidad de la comunidad campesina de Huaracaca, llegando a ser su valor igual a 343408.10 KW/h/año, al final de la investigación se ha concluido que en el año 2017 se emitió a la atmósfera un valor de 127.0610 Tn/CO<sub>2</sub>/año.

Luque (2018), en su trabajo de investigación “Evaluación de la viabilidad del aprovechamiento del potencial eólico para la generación de energía eléctrica” tuvo como objetivo la evaluación de la viabilidad para aprovechar el potencial eólico en el distrito de Chiguata que pertenece a la provincia de Arequipa, la información utilizada corresponde a los años 2013 al 2017, en sus cálculos se extrapolaron las alturas de 30, 60 y 90 m y así calcular sus velocidades utilizando la distribución Weibull, llegando a calcular la probabilidad de ocurrencia a 90 metros sobre el nivel de suelo, como resultado se ha simulado la generación de energía eléctrica de varios aerogeneradores seleccionados dentro de un rango de un año, concluyendo que el potencial eólico para el distrito de

Chiguata puede dar cobertura de servicio eléctrico en un 48.15% de la energía eléctrica utilizada.

Achuma (2019), nos presenta su trabajo denominado “Evaluación de viabilidad del aprovechamiento del potencial eólico para generar energía eléctrica”, tuvo como objetivo ver la viabilidad de potencial eólico que pueda generar energía eléctrica para el distrito de San Jerónimo en el departamento de Cusco; se utilizó los datos de la estación meteorológica de “Granja Kayra” del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología – Cusco de los años del 2009 al 2018. La metodología realizada fue primero calcular el potencial eólico, para ello se evaluó la concentración del aire, extrapolar las velocidades del viento a 30, 60 y 90 metros, para al final determinar la distribución WEIBULL, con toda esa información se determinó la producción de energía eléctrica para 5 modelos de aerogeneradores; los resultados obtenidos permitieron pronosticar una velocidad media del viento igual 6.4 m/s a una altura de 90 metros; la distribución WEIBULL arrojó valores para el viento de 3 a 7 m/s, con dirección dominante “noreste”, la energía eléctrica generada de 5506.49 MWh/año a 90 m de altura que cubre el 46.20 % del consumo de todo el distrito de San Jerónimo; el aerogenerador seleccionado es tipo VESTAS de 2000 KW, llegando a la conclusión que el beneficio por el uso de la fuerza eólica para la producción normal de energía eléctrica limpia para el Distrito de San Jerónimo es viable.

Castillo (2019), en el trabajo de investigación “Análisis de característica de viento y evaluación al potencial eólico de los Valles de Chao, Virú y Moche, como fuente renovable”, nos muestra información importante del régimen de viento de la región costera de La Libertad en el lapso de un año, llegando al resultado que Chao es el lugar más adecuado pues cuenta con una velocidad promedio de 7.79 m/s a 100 m de altura, para el caso del potencial eólico de ha encontrado un valor igual a 1523.114 W/m<sup>2</sup> a 100 m; de otra parte en Moche y Virú, no se consideran aptas para la generación de energía eléctrica, por último estimaron técnicamente producir energía mediante 6 aerogeneradores de diferentes modelos y mediante el análisis energético simularon dicho

rendimiento, el modelo de aerogenerador elegido fué el Vestas V90 – 2MW el cual resultó ser más acorde a la zona de Chao, calculando una producción al año de 5.03 GWh con un factor de capacidad igual a 30% a una altura de 100 metros.

Escobar (2020) en su investigación “Medición de la potencia del recurso eólico en Acobamba, Huancavelica, Paucarbamba, Pampas y Lircay” hace un énfasis sobre la importancia de la energía eólica, pues es una energía renovable y limpia que se obtiene del viento energía que se obtiene de la conversión de la energía cinética en eléctrica, mediante una ficha de registro de datos se han obtenido los valores a procesar, la zona de estudio se dividió en 5 distritos, los cálculos inferenciales se realizaron mediante la prueba de Wilcoxon con  $p < 0.05$  la cual mostró que la velocidad del viento llega a superar el valor de 2 m/s, los datos históricos utilizados fueron los recogidos de la estación meteorológica de cada uno de los 5 distritos de la región de Huancavelica en el periodo del 2017 resultando ser favorables y permitir que un aerogenerador de baja potencia normalmente de 70 KWh/d sea el más recomendable, otro resultado fué sobre los indicadores: dirección del viento y su velocidad, los cuales han mostrado ser cíclicos o homogéneos, lo les permitió concluir que es muy recomendable la zona de estudio para la utilización de su recurso eólico.

### **1.2.3. Antecedentes Locales.**

Yancachajlla et. al. (2019), en su investigación “Estimación del Potencial Energético Eólico para la Ciudad de Juliaca en Perú” nos reitera conceptos sobre la reconversión de la base energética en nuestro territorio, pues el viento como fuente de energía se viene utilizando en muchos lugares del mundo, pues al ser una energía renovable se puede utilizar para generar energía eléctrica, también nos mencionan que en ciertas regiones del Perú no se puede utilizar la energía eólica pues la velocidad del viento es muy baja, con datos obtenidos de la estación meteorológica instalada en la Universidad Nacional de Juliaca, los resultados de la distribución de Weibull es igual a 1.4526 y calculada la

estimación del potencial energético con un valor de  $16.912 \text{ W/m}^2$  valor que se concluye que es muy bajo, por que no es viable un proyecto de energía eólica.

### **1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.3.1 Objetivo general.**

Evaluar el potencial de la energía eólica, para la generación de electricidad y su implicancia en la reducción de  $\text{CO}_2$  en la comunidad de Cuyuraya - Huancané, 2023.

#### **1.3.2. Objetivos específicos.**

- Determinar el potencial de energía eólica en la comunidad de Cuyuraya, para la generación de electricidad.
- Determinar la relación entre la emisión de  $\text{CO}_2$  y la generación de electricidad con el uso de energía convencional en la comunidad de Cuyuraya.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

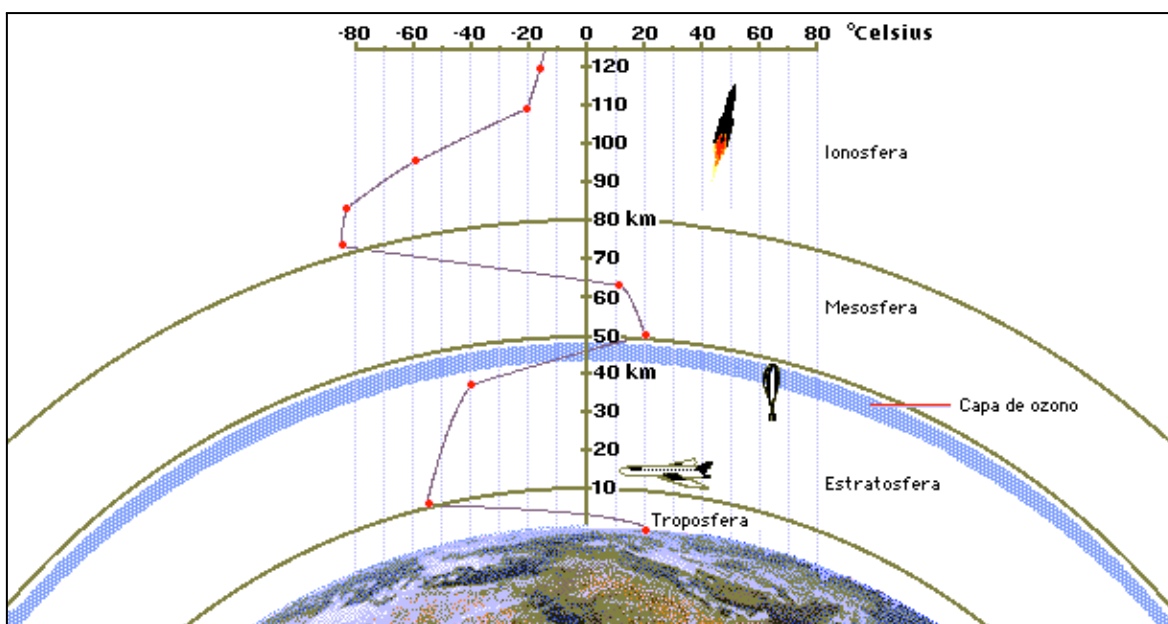
#### 2.1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

##### 2.1.1. El Viento.

El viento resulta de la convección y expansión del aire provocado por diferentes absorciones de la energía solar de la tierra. En una escala global, este efecto térmico se combina con las variaciones producidas por la rotación de la tierra, movimiento que origina una circulación general de toda atmósfera terrestre, agregado a éste efecto se tienen que considerar también las variaciones a nivel local y temporal que son originadas por el factor geográfico y climatológico propios de cada zona .

La atmósfera se divide verticalmente en varias capas horizontales, según una división basada principalmente en la temperatura.

El viento en superficie se produce en la capa más baja de la atmósfera, la troposfera, que tiene un espesor de unos 8 km en los polos y unos 16 km en el Ecuador. En concreto, observando desde la visión de la energía eólica, interesará únicamente el viento que se produce en unos pocos centenares de metros sobre el suelo, en la parte más baja de la troposfera.



**Figura 01.** Capas de la Atmósfera.

### 2.1.2. Circulación del Viento.

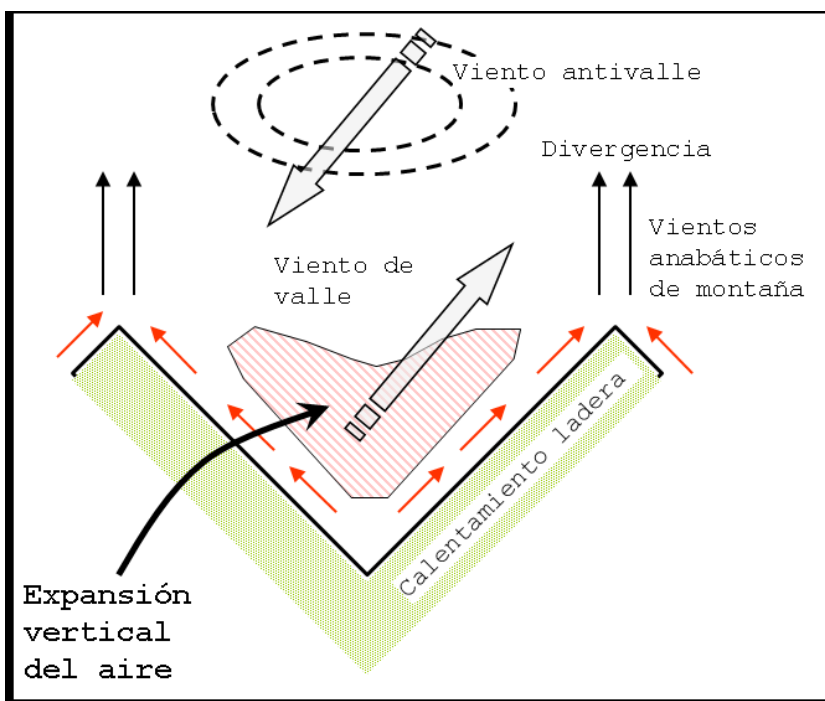
Los desplazamientos de aire tienden a eliminar estos desequilibrios de presión existentes. La velocidad del viento será mayor, por tanto, cuanto mayor sea el gradiente de presión. El aire se moverá de las zonas de altas presiones a las zonas de bajas presiones. La fuerza de presión por unidad de masa, perpendicular a las isobaras se expresa como:

$$\frac{\partial P}{\partial m} = -1 \rho \cdot \frac{\partial p}{\partial n}$$

Donde:

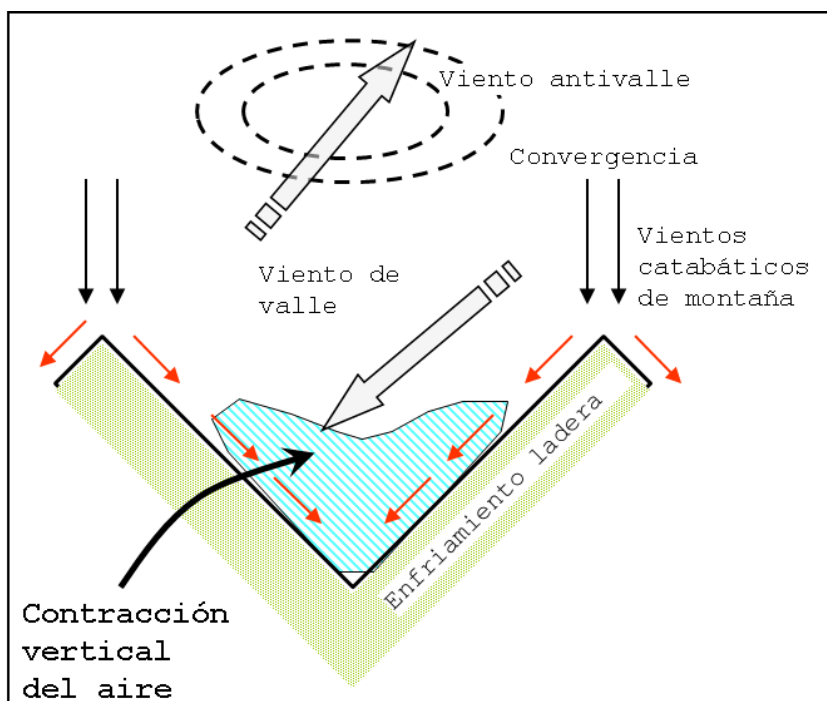
$\rho$  = es la densidad del aire

$\frac{\partial p}{\partial n}$  = es el gradiente horizontal de presión.



**Figura 02.** Circulación local del viento, durante el día

**Fuente:** Adaptado de (ITE, 2023).



**Figura 03.** Circulación local del viento, durante la noche.

**Fuente:** Adaptado de (ITE, 2023).



### 2.1.3. La Energía Eólica

Hoy en día la energía eólica se ha convertido dentro de otras, en una fuente energética más económica y para la cual existe tecnología suficientemente madura que permite su aprovechamiento, por ende los aerogeneradores actuales tiene la capacidad de generar electricidad a precios que comparados con fuentes tradicionales son en demasía mejores, pues el principio de partir de la utilización de fuentes naturales, renovables y que no contaminan el medio ambiente (Ministerio de Energía y Minas, 2016).

### 2.1.4. Potencia eólica disponible.

Para entender mejor éstos conceptos, de agregaremos las siguientes fórmulas:

$$E = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

La energía cinética por unidad de volumen será:

$$e = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2$$

siendo  $\rho$  la densidad del aire, que a efectos prácticos puede suponerse prácticamente constante.

El flujo de aire sobre una superficie tiene una ecuación igual a:

$$\Phi = v \cdot A$$

La energía que fluye por unidad de tiempo, o potencia eólica disponible en una sección de área  $A$  perpendicular a la corriente de aire con velocidad  $v$  será el flujo de energía cinética, es decir:

$$Pd = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot v \cdot A = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3.$$

De acuerdo a las expresiones anteriores, el potencial disponible dentro de la masa de aire que se encuentra en movimiento será igual a la proporción directa de la densidad, que respecto a la superficie perpendicular la cual está enfrente del rotor multiplicado por la velocidad del viento al cubo. En unidades del Sistema Internacional dicha potencia vendrá expresada en  $W$ .

### 2.1.5. Potencia eólica aprovechable.

En el apartado anterior se ha visto cual es la energía contenida en la masa de aire que se encuentra en movimiento. Ahora bien, el cumplimiento de la ecuación de conservación de

la masa hace que no toda esa potencia a disposición existente en el aire pueda aprovecharse. Se debe agregar a todo esto que la potencia a aprovechar del viento va a depender también de la tecnología de composición de, aerogenerador, se tiene que considerar también las pérdidas que se va a generar por transmisión dentro de los mecanismos de la máquina y por supuesto de la eficiencia del aerogenerador. Estos factores se tendrán en cuenta aparte. Se define el coeficiente de potencia de un aerogenerador como la fracción de potencia contenida en el viento incidente que es realmente capturada por el aerogenerador. Es una medida de la eficiencia de la máquina.

$$P_d = 1/2 \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \cdot C_p$$

Dónde:

$P_d$ : potencia disponible

$\rho$ : densidad del viento

$A$ : área expuesta al viento incidente

$V$ : velocidad del viento incidente.

#### 2.1.6. Parámetros representativos del potencial eólico.

Al momento de analizar un emplazamiento se tienen que evaluar las características que tiene el viento, por lo que se tiene que considerar las siguientes condiciones:

- Características globales del viento durante el emplazamiento (promedios anuales, por estación y del día).
- Promedio de la información de diez minutos a una hora.
  - Características meteorológicas, como la presión atmosférica, temperatura, la densidad y humedad relativa del aire.
  - La dirección expresada en su distribución de frecuencias.
  - La variación en el tiempo de la velocidad.
  - Potencial eólico a disposición.
- Característica que tiene el viento que permita el funcionamiento del equipo.
- Datos de 10 minutos a 1 hora de promedio.
  - Perfil vertical de velocidad horizontal.

- Variaciones en el tiempo.
- La dirección expresada en relación a demás factores.
  - La velocidad vertical expresada en sus variaciones.
- Correspondencia entre la dirección y el viento vertical.
- Correlaciones entre el viento horizontal y el vertical.
- Media de la Información entre 1 a 10 minutos.
  - Características de la ráfaga.
- Correspondencia entre el factor de ráfagas, la velocidad y su dirección.
  - Propiedades de la turbulencia
- Relación entre turbulencia y dirección.
- Relación entre turbulencia y velocidad.

#### **2.1.7. Emisiones de CO<sub>2</sub> por utilización de combustibles fósiles.**

Terminando el siglo XVII la humanidad ha empezado a consumir el combustible fósil que se había acumulado en la Tierra dentro de su subsuelo durante los períodos geológicos que el planeta ha experimentado, la quema de petróleo, carbón y gas natural ha causado un aumento del CO<sub>2</sub> en la atmósfera que últimamente es de 1,4 ppm al año y produce el consiguiente incremento de la temperatura. Se calcula que el hombre registra la temperatura del planeta más o menos hace 150 años iniciándose en el época industrial, se ha registrado un aumento de 0.5 °C y se estima que éste aumento haya crecido a 1°C en el 2020 y de 2°C para el 2050 (Opinión, 2009).

Además del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), existen diversos gases de efecto invernadero responsables del calentamiento global, tales como el gas metano (CH<sub>4</sub>) óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), Hidrofluorocarbonos (HFC), Perfluorocarbonos (PFC) y Hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>), los cuales están contemplados en el Protocolo de Kioto.

Los últimos años del siglo XX se caracterizaron por poseer temperaturas medias que son siempre las más altas del siglo. Rachel Kyte, vicepresidente para Desarrollo Sostenible del Banco Mundial anunció en el año 2013, que el costo económico por los desastres naturales aumentó cuatro veces desde 1980 (Ohoa, 2015).

### 2.1.8. Emisiones de Gases de Efecto Invernadero.

Para cada una de las organizaciones se a establecido que deben tener un inventario denominado de “Gases de Efecto Invernadero”, llamándolo también Huella de Carbono, és este informe se deben indicar las emisiones GEI que ha realizado la organización durante el periodo comúnmente de un 1 año, se debe aclarar que éste inventario debe realizarse siguiendo estándares internacionales, principalmente el GHG Protocol1 o la norma ISO 14064-1.2 (INFOCARBONO, 2023). Los dos estándares mencionados llevan la cuenta de las emisiones de manera parecida, teniendo una diferencia predominante en la forma en la que se detalla y desglosa los reportes.

### 2.1.9. Estándar GHG y el ISO 14064-1.2, para los tipos de Emisiones.

Dentro de las organizaciones podemos diferenciar tres categorías de emisiones (Soluciones Ecológicas, 2022):

**Emisión de Alcance Uno** llamadas también, Emisiones Directas. Se denomina así al gas de efecto invernadero que se emite de forma directa en una organización, así tenemos por ejemplo, la utilización de los combustibles fósiles en máquinas y vehículos que pertenecen a la organización, también están considerados la pérdida de gases refrigerantes, ocasionado por reacción química que se produce en el proceso productivo que se lleva adelante en toda organización.

**Emisión de Alcance Dos** o llamadas también: emisiones indirectas por Energía, que terminan siendo los gases que son emitidos por una segunda organización que produce la energía la provee a nuestra organización, las cantidades dependen mucho del requerimiento en cantidad que necesita la organización, un ejemplo es el Mix energético de una red que nos aprovisiona.

**Emisión de Alcance Tres** llamadas Otras Emisiones Indirectas, y se pueden atribuir a aquellos servicios y productos que se adquieren de parte de una organización, las cuales previamente ya han generado emisiones de gas invernadero para producir nuestros insumos, éste tipo de emisiones son los más difíciles de llevar un control, éste por la cantidad excesiva de servicios y productos que son utilizados por las organizaciones, y

también es difícil conocer las emisiones de estos productos o servicios si no son aportadas por el propio productor.

## 2.2. MARCO CONCEPTUAL

**Velocidad del Viento.** La velocidad del viento será mayor, por tanto, cuanto mayor sea el gradiente de presión. El aire se moverá de las zonas de altas presiones a las zonas de bajas presiones (ITE, 2023).

**Energía Eólica.** La energía eólica se ha convertido dentro de otras, en una fuente energética más económica y para la cual existe tecnología suficientemente madura que permite su aprovechamiento, por ende los aerogeneradores actuales tienen la capacidad de generar electricidad (Ministerio de Energía y Minas, 2016).

**Potencia eólica aprovechable.** Se define el coeficiente de potencia de un aerogenerador como la fracción de potencia contenida en el viento incidente que es realmente capturada por el aerogenerador. Es una medida de la eficiencia de la máquina (Escobar, 2020).

**Emisiones de CO<sub>2</sub>** por utilización de combustibles fósiles. el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), existen diversos gases de efecto invernadero responsables del calentamiento global, tales como el gas metano (CH<sub>4</sub>) óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), Hidrofluorocarbonos (HFC), Perfluorocarbonos (PFC) y Hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>), los cuales están contemplados en el Protocolo de Kioto (Opinión, 2009).

**Emisiones de Gases de Efecto Invernadero.** Un inventario denominado de “Gases de Efecto Invernadero”, llamado también Huella de Carbono, es este informe se deben indicar las emisiones GEI que ha realizado la organización durante el periodo comúnmente de un 1 año, se debe aclarar que éste inventario debe realizarse siguiendo estándares internacionales, principalmente el GHG Protocol1 o la norma ISO 14064-1.2 (INFOCARBONO, 2023).

## 2.3. MARCO NORMATIVO

- Decreto Supremo N° 024-2013-EM. Modifican el Reglamento de la Ley de Promoción de la Inversión para la Generación de Electricidad con el uso de Energías Renovables y el Reglamento de la Ley de Concesiones Eléctricas ( 05/07/2013)
- Decreto Supremo N° 056-2009-EM. Disponen adecuar competencia de los Gobiernos Regionales para el otorgamiento de concesiones definitivas de generación con recursos energéticos renovables (e. 10/07/2009, p. 11/07/2009)
- El diseño del sistema de energía eólica debe garantizar que los niveles de ruido no sobrepasen los límites máximos permitidos por el Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Ruido (Decreto Supremo N° 085-2003 PCM).
- El diseño del sistema de energía eólica debe prever las consideraciones técnicas para que la vibración no afecte el confort ni la salud de las personas (Artículo 115 de la Ley General del Ambiente – Ley 28611).

## 2.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN.

### 2.4.1 HIPÓTESIS GENERAL.

El potencial de la energía eólica para la generación de electricidad es mayor a 300 W/m<sup>2</sup> y su implicancia es directa en la reducción del CO<sub>2</sub> en la comunidad de Cuyuraya - Huancané, 2023.

### 2.4.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICAS.

- El potencial de energía eólica es mayor a 300 W/m<sup>2</sup> en la comunidad de Cuyuraya, para la generación de electricidad.
- La relación entre la emisión de CO<sub>2</sub> y la generación de electricidad con el uso de energía convencional en la comunidad de Cuyuraya, es directa.

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1. ZONA DE ESTUDIO

##### 3.1.1. Ubicación.

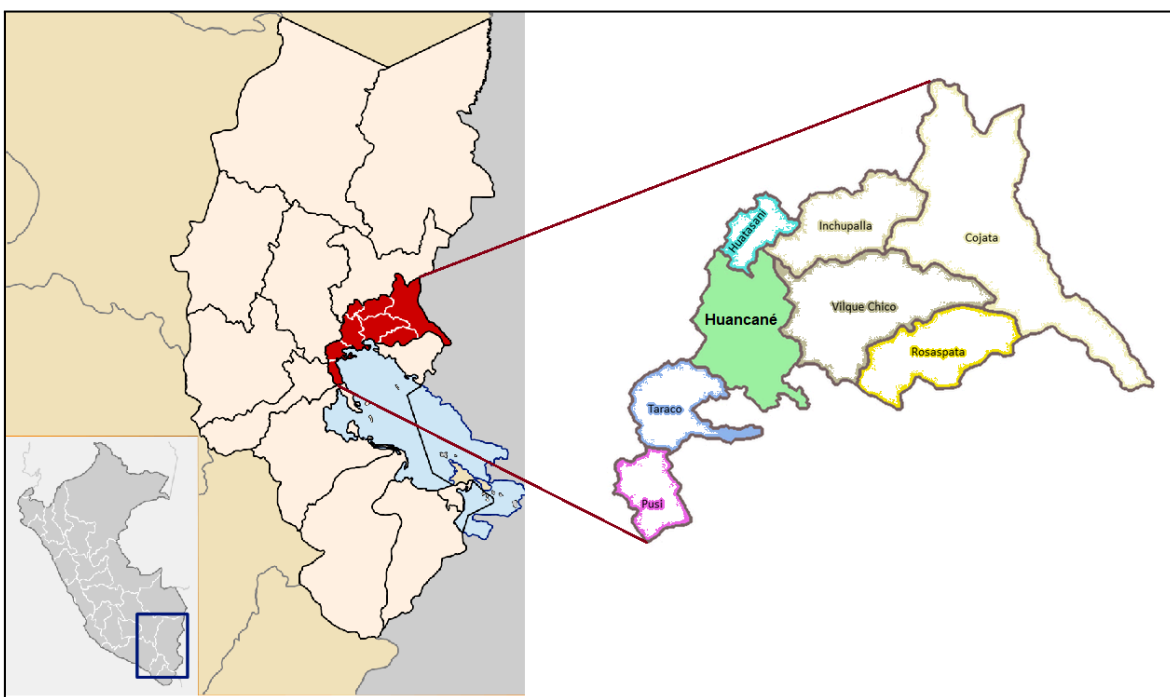
Nuestra zona de estudio, se ubica en la provincia de Huancané, la cual conforma las 13 provincias de la región de Puno, región que se encuentra ubicada al sur del País, sus límites son:

- Por el este, con el país de Bolivia.
- Por el oeste limita con la provincia de San Román y Azángaro.
- Por el norte, con la provincia: San Antonio de Putina;
- Por el sur con la provincia de Puno, Moho, y el lago Titicaca.

Ésta provincia se divide en ocho distritos; pues es en el distrito de Huancané donde se ubica la comunidad de Cuyuraya.

##### 3.1.2. Información Geográfica de la zona de estudio.

- **Coordenadas geográficas:** 15°12'08"S 69°45'41"O
- **Clima:** En el distrito de Huancané en promedio el clima es frígido, registrando sus más bajas temperaturas en la época de invierno, correspondiendo a los meses mayo, junio e inclusive julio, llegando a los valores inferiores a 0 °C, su temperatura media por lo tanto se encuentra en el rango de 5 a 10 °C mientras que la máxima se mantiene nivelado casi a lo largo del año llegando a un promedio de 18,0 °C.
- **Altitud.** 3825 m s. n. m.



**Figura 04:** Ubicación del Distrito de Huancané en el mapa del departamento de Puno.

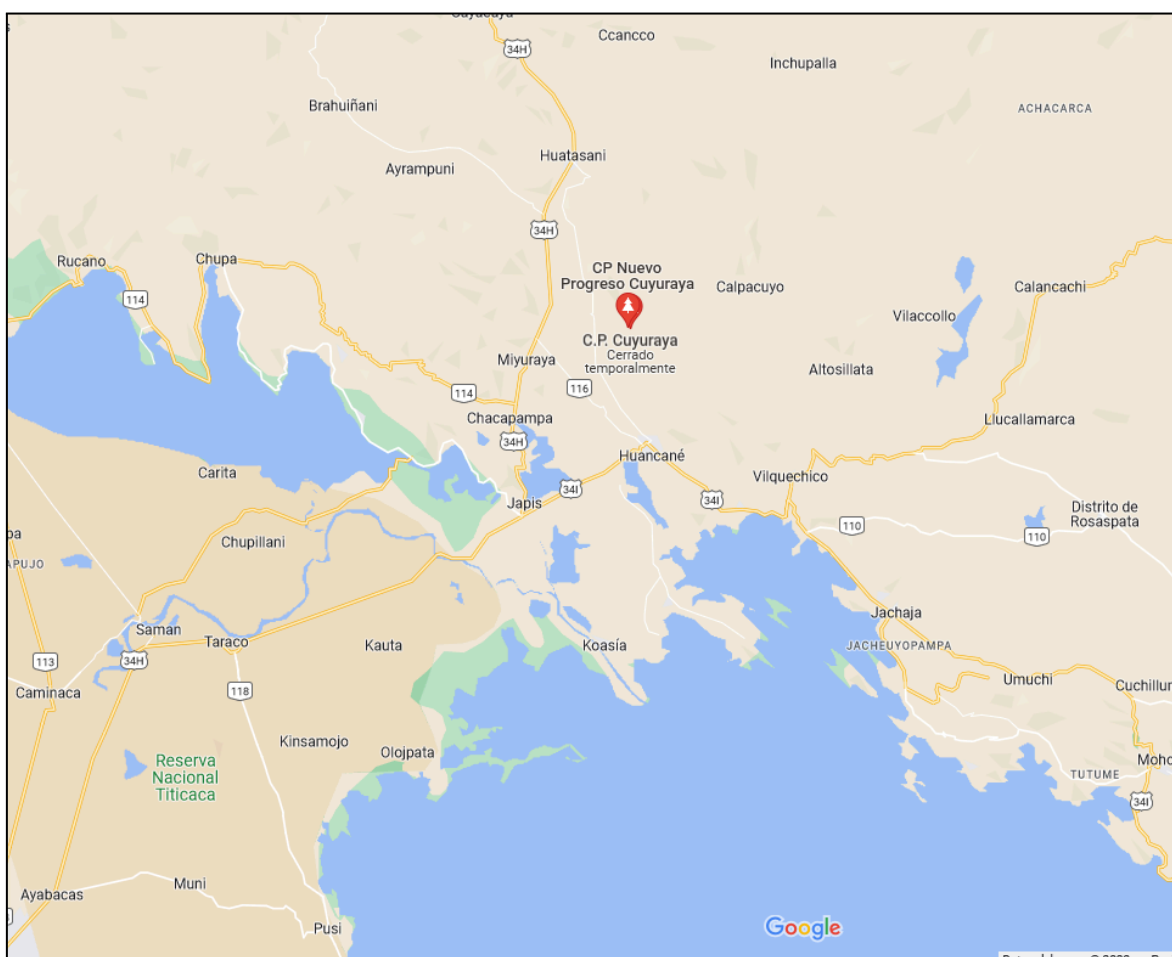
**Fuente:** Adaptado de la imágenes de <https://es.wikipedia.org/wiki/Huancan%C3%A9>

### 3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA.

#### 3.2.1. Población.

La población estuvo conformada por los datos meteorológicos del área geográfica de la comunidad de Cuyuraya, cuya valor es igual a 230,696 m<sup>2</sup>, de donde se obtuvieron los datos meteorológicos.





**Figura 05:** Ubicación del C.P. de Cuyuraya en el distrito de Huancané.

**Fuente:** Adaptado de la imágenes de Google Maps.

### 3.2.3. Muestra.

La muestra se ha realizado en un solo punto, el cual ha sido un lugar expuesto a todas las direcciones y que no tenga obstáculos alrededor, la ubicación de éste punto se describe a continuación:

Latitud Sur : 15° 8' 21.5" S (-15.13931841000)

Longitud Oeste : 69° 46' 27.1" W (-69.77419677000)

Altitud : 3843 m s. n. m.



**Figura 06:** Ubicación del punto donde se realizó la recopilación de los datos meteorológicos.

### **3.3. MÉTODOS Y TÉCNICAS**

#### **3.3.1. Tipo de Investigación.**

Es de tipo descriptivo, ya que se utilizó información de campo para procesarla y describir sus resultados, además se usó las variables para determinar su comportamiento en determinados fenómenos.

#### **3.3.2. Diseño de la Investigación.**

Diseño no experimental, considerando que no se manipularon deliberadamente las variables; de corte transversal, ya que se usaron datos de diferentes fechas, pero se les procesa en un solo momento. Investigación correlativa, ya que se hizo uso de la teoría y se aplicó en los datos de campo obtenidos, para posteriormente procesarlos.

#### **3.3.3. Metodología de Desarrollo de la Investigación**

##### **a. Clasificación de las velocidades**

Una vez realizada la recolección de datos, se han clasificado los datos referentes a cada variable objetivo de estudio y su presentación conjunta. Para calcular el Potencial Eólico en la zona en estudio, se ha clasificado las velocidades, por ello se ha hecho un registro de la frecuencia de la ocurrencia de cada una de ellos, para esto ha sido necesario

descartar los momentos de calma (0 m/s), porque no ofrecen valores significativos, al no poseer energía cinética aprovechable y vientos excesivos por encima de los 30 m/s que podrían representar daños posteriores a los aerogeneradores.

#### **b. Aplicación de la distribución de Weibull**

El determinar el potencial eólico está ligado a establecer el cálculo de la ecuación de Weibull, para ello es necesario establecer los parámetros de escala  $c$  en metros/segundo, valor que determina el promedio de la velocidad del viento de la zona de estudio, y el valor del parámetro “ $k$ ”, el cual nos muestra el grado de dispersión de los registros, con éstos se puede determinar la frecuencia con la que se manifiesta una velocidad determinada del viento.

#### **c. Cálculo del Potencial Eólico:**

Utilizando los datos de los parámetros de la forma  $k$  y la escala  $c$  en m/s, se procede a calcular el Potencial Eólico de la comunidad de Cuyuraya, con la siguiente fórmula:

$$\text{Potencial eólico} = \frac{1}{2} * \rho * v^3 * r^2 * \pi$$

Dónde:

$\rho$ : Densidad de la zona de estudio

$v$ : Velocidad media (factor de escala  $c$  en m/s)

$r$ : Radio del rotor del aerogenerador

#### **d. Elección del tipo de Aerogenerador**

La elección del tipo de Aerogenerador, se realizó en función a las características del mismo y a la velocidad media del lugar.

#### **e. Cálculo de la cantidad de energía/año**

Con el dato calculado del Potencial Eólico ( $W/m^2$ ) en la zona de estudio, ha sido posible saber cuánta energía se obtendrá en un año en  $Kw/H/m^2$ .

#### **f. Procesamiento de los datos de consumo eléctrico**

##### **Cálculo de emisión de $CO_2$**

Con los datos proporcionados por el teniente gobernador de la comunidad de Cuyuraya, se ha procedido a calcular la cantidad de  $CO_2$  emitido a la atmósfera en el periodo

determinado. Para lo cual se utiliza la aplicación en línea CERO CO<sub>2</sub> de La ONG para consumo eléctrico, en el cual se ingresa el consumo en Kw/h y se obtiene la cantidad de emisión de CO<sub>2</sub> al año en Tn CO<sub>2</sub>/año

### 3.4. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.

**Tabla 01.** Operacionalización de variables de investigación.

Variable	Dimensión	Indicador o definición operativa	Escala de medición	Categoría y valores
V. I. Potencial de la Energía eólica.	Potencial Eólico	●Densidad	Razón	Numérico
		●Velocidad media	Razón	Numérico
		●Radio del rotor del aerogenerador	Real	Numérico
V.D. Generación de electricidad y su implicancia en la emisión de CO <sub>2</sub>	Cantidad Energía/Año Emisión de CO <sub>2</sub>	●Consumo eléctrico	Razón	Numérico
		●Cantidad de CO <sub>2</sub>	Razón	Numérico

### 3.5. MÉTODO O DISEÑO ESTADÍSTICO

Para determinar los valores de las variables de investigación, para ambos casos se ha utilizado la estadística descriptiva, calculando los promedios de las dimensiones de ambas variables, así como la desviación estándar de los mismos, una vez considerado éstos resultados se utilizaron para ser aplicados en las fórmulas propias del potencial eólico como de las emisiones de CO<sub>2</sub>, para lo cual se utilizó el software en línea denominado Software en línea “Cero CO<sub>2</sub>”.

## CAPÍTULO IV

### EXPOSICION Y ANALISIS DE LOS RESULTADOS

#### 4.1. RESPECTO AL PRIMER OBJETIVO ESPECÍFICO.

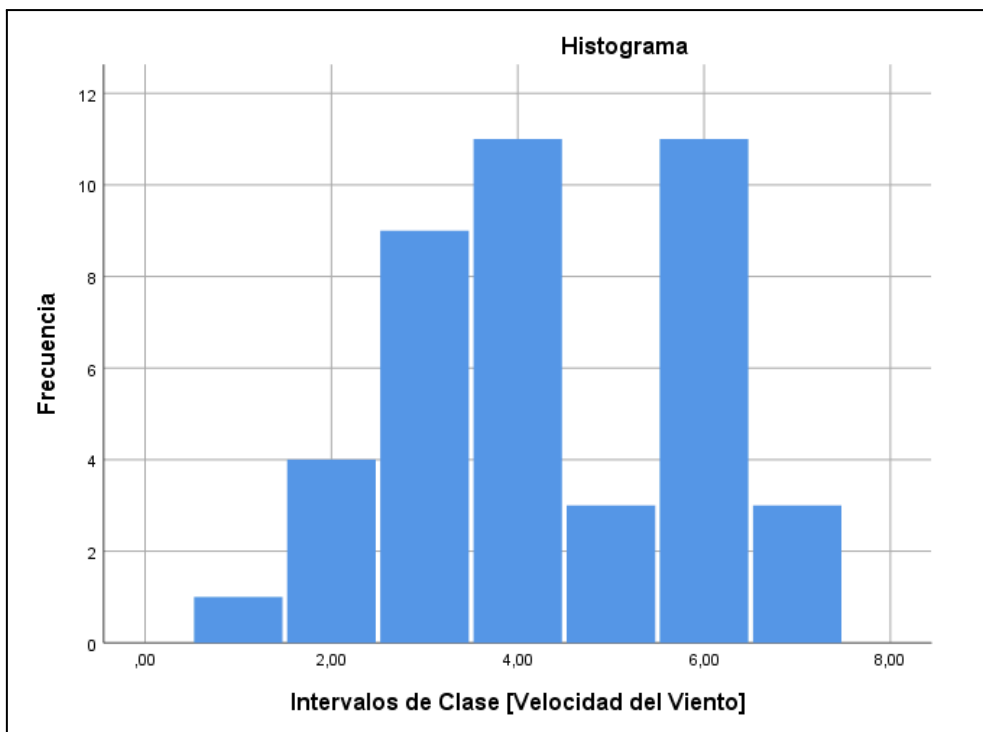
Determinar el potencial de energía eólica en la comunidad de Cuyuraya, para la generación de electricidad.

##### 4.1.1 Análisis de la velocidad del viento.

**Tabla 02.** Tabla de frecuencia para el mes de octubre de 2023.

Intervalos de Clase	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido [0..5>	1	2,4	2,4	2,4
[5..10>	4	9,5	9,5	11,9
[10..15>	9	21,4	21,4	33,3
[15..20>	11	26,2	26,2	59,5
[20..25>	3	7,1	7,1	66,7
[25..30>	11	26,2	26,2	92,9
[30..35>	3	7,1	7,1	100,0
Total	42	100,0	100,0	

Se puede observar en la tabla 02, que los datos se han agrupado en 7 clases, cada una de ellas de rangos de 5 m/s de distancia, de acuerdo a los resultados los rango en los que se presenta más frecuentes las velocidades del viento para el mes de octubre del 2023 son para los intervalos de 15 a 20 m/s y 25 a 30 m/s.



**Figura 07.** Histograma de las frecuencias para la velocidad del viento en el mes de octubre de 2023.

En la figura 07, se aprecia que la distribución de las velocidades no es constante, ni tampoco sigue una distribución normal, por lo que se podría concluir que en el mes de octubre las velocidades del viento son muy variadas, no pudiendo establecer una tendencia.

**Tabla 03.** Estadísticos descriptivos para el mes de octubre de 2023.

Estadísticos	Valor	
<b>N</b>	<b>Válido</b>	<b>42</b>
	<b>Perdidos</b>	<b>0</b>
Media	18.9743	
Mediana	17.4450	
Moda	15.30 <sup>a</sup>	
Desv. Desviación	8.12799	
Varianza	66,064	
Mínimo	1.22	
Máximo	34.59	

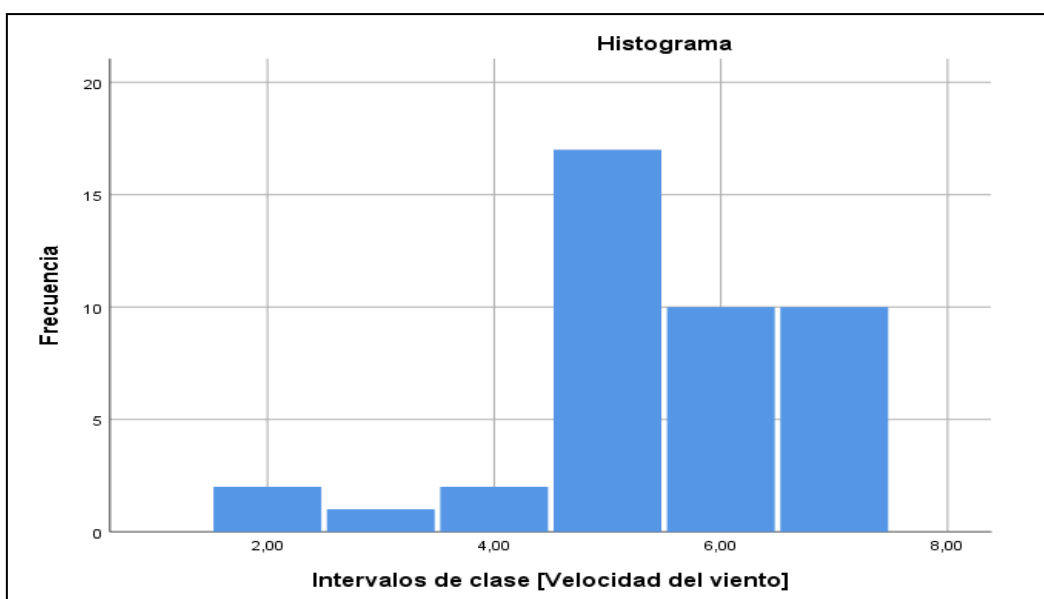
a. Existen múltiples modos. Se muestra el valor más pequeño.

De todo el análisis realizado y con los datos de la tabla 03, se puede concluir que para el mes de octubre la velocidad promedio es igual a **18.97 m/s** con una desviación estándar de 8.12.

**Tabla 04.** Tabla de frecuencia para el mes de noviembre de 2023.

Intervalos de		Porcentaje		Porcentaje	
Clase	Frecuencia	Porcentaje	válido	acumulado	
Válido	[5..10>	2	4,8	4,8	4,8
	[10..15>	1	2,4	2,4	7,1
	[15..20>	2	4,8	4,8	11,9
	[20..25>	17	40,5	40,5	52,4
	[25..30>	10	23,8	23,8	76,2
	[30..35>	10	23,8	23,8	100,0
<b>Total</b>		<b>42</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	

Como se aprecia tabla 04, que los datos se han agrupado en 7 clases, cada una de ellas de rangos de 5 [m/s] de distancia, de acuerdo a los resultados los rango en los que se presenta más frecuentes las velocidades del viento para el mes de noviembre de 2023 es para el intervalo de 20 [m/s] a 25 [m/s].



**Figura 08.** Histograma de las frecuencias para la velocidad del viento en el mes de noviembre de 2023.

En la figura 08, se aprecia que la distribución de las velocidades existe cierta frecuencia para el intervalo N° 05 correspondiente al rango de las velocidades entre 20 y 25 m/s es constante, sin embargo no se puede establecer que ésa sea la tendencia.

**Tabla 05.** Estadísticos descriptivos para el mes de noviembre de 2023.

Estadísticos		
N	Válido	42
	Perdidos	0
Media		24.9524
Mediana		24.8350
Moda		5.79 <sup>a</sup>
Desv. Desviación		6.49864
Varianza		42,232
Mínimo		5.79
Máximo		34.90

a. Existen múltiples modos. Se muestra el valor más pequeño.

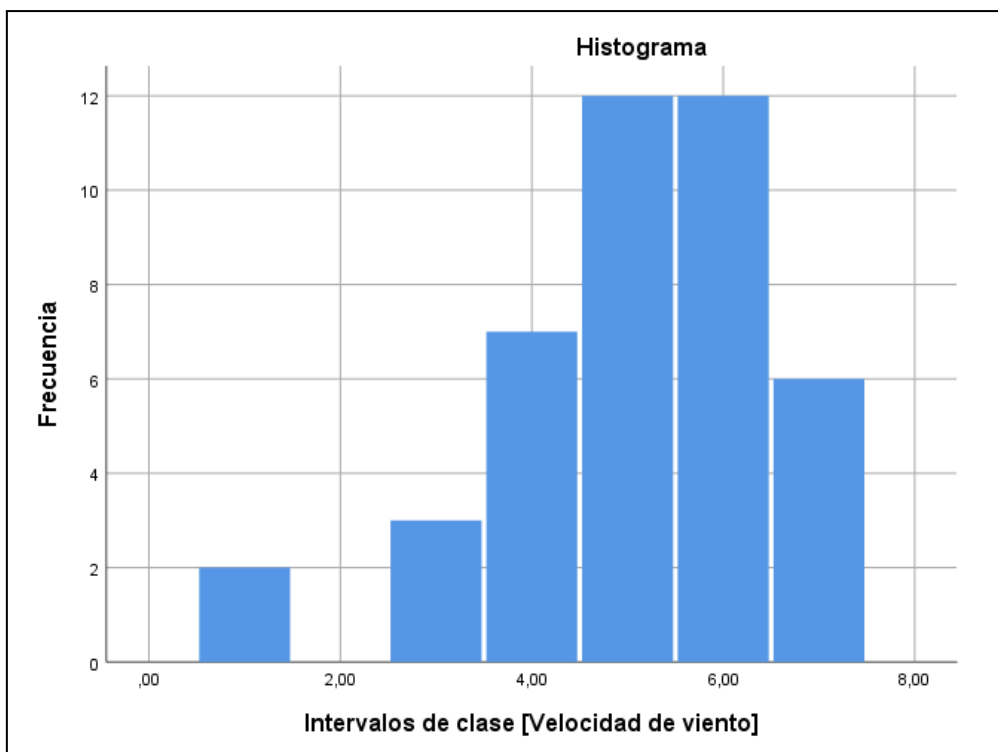


De todo el análisis realizado y con los datos de la tabla 05, se puede concluir que para el mes de noviembre la velocidad promedio es igual a **24.95 m/s** con una desviación estándar de 6.49.

**Tabla 06.** Tabla de frecuencia para el mes de diciembre de 2023.

Intervalos de Clase	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido [0..5>	2	4,8	4,8	4,8
[10..15>	3	7,1	7,1	11,9
[15..20>	7	16,7	16,7	28,6
[20..25>	12	28,6	28,6	57,1
[25..30>	12	28,6	28,6	85,7
[30..35>	6	14,3	14,3	100,0
<b>Total</b>	<b>42</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	

Se puede observar en la tabla 06, que los datos se han agrupado en 7 clases, cada una de ellas de rangos de 5 m/s de distancia, de acuerdo a los resultados los rango en los que se presenta más frecuentes las velocidades del viento para el mes de diciembre de 2023 son para los intervalos de 20 a 25 m/s y 25 a 30 m/s.



**Figura 09.** Histograma de las frecuencias para la velocidad del viento en el mes de diciembre de 2023.

En la figura 08, se aprecia que la distribución de las velocidades se acerca bastante a una distribución normal, por que se podría decir que de los 3 meses analizados, el mes de diciembre tiene cierta tendencia a no variar mucho el registro de velocidad del viento.

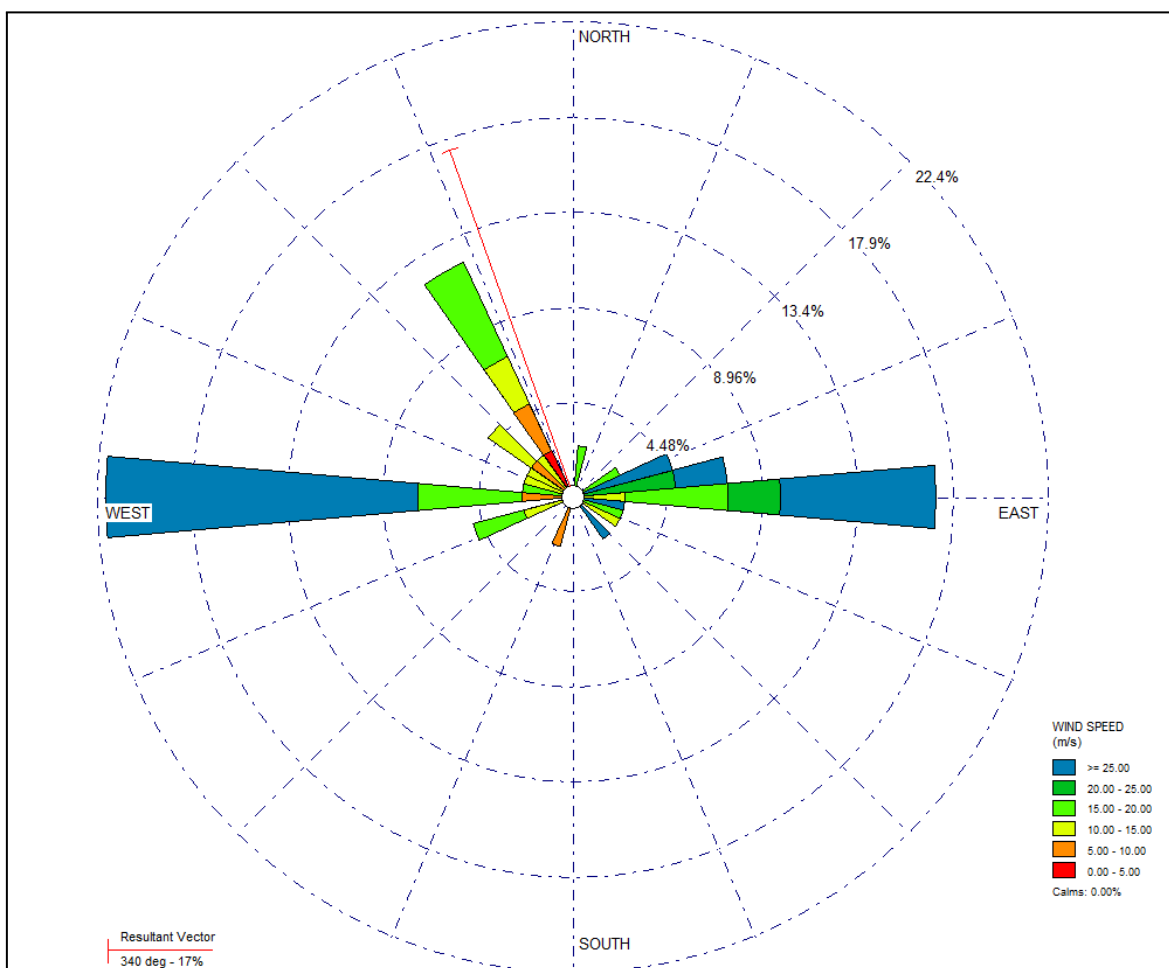
**Tabla 07.** Estadísticos descriptivos para el mes de diciembre de 2023.

Estadísticos		
N	Válido	42
	Perdidos	0
Media		22.5821
Mediana		23.3150
Moda		4.16 <sup>a</sup>
Desv. Desviación		7.02616
Varianza		49,367
Mínimo		4.16
Máximo		34.54

a. Existen múltiples modos. Se muestra el valor más pequeño.

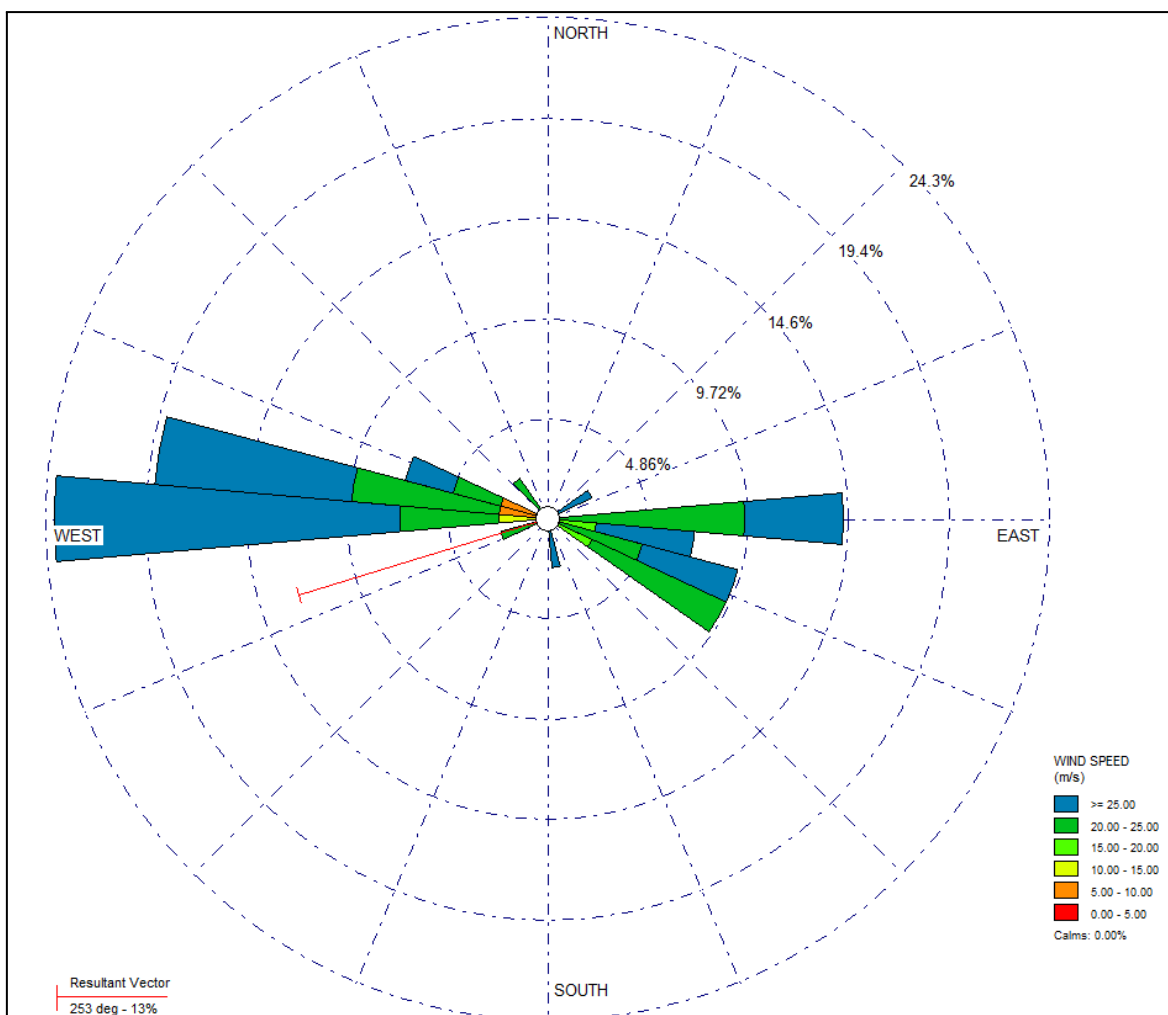
De todo el análisis realizado y con los datos de la tabla 07, se puede concluir que para el mes de diciembre la velocidad promedio es igual a **22.58 m/s** con una desviación estándar de 7.02.

#### 4.1.2 Análisis de la dirección del viento.



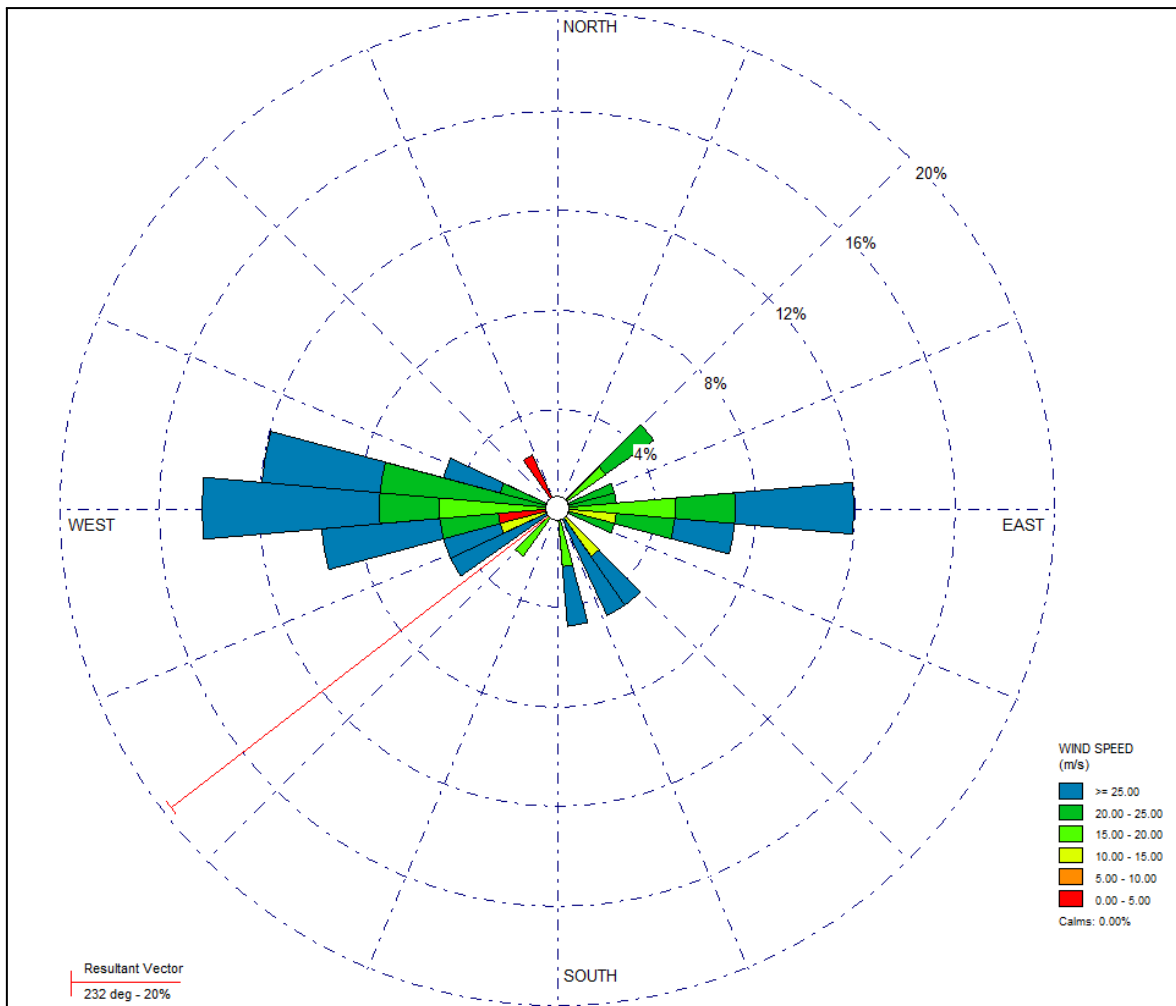
**Figura 10.** Rosa de vientos para el mes de octubre de 2023.

Como puede apreciarse en la figura 10, en el mes de octubre la orientación del viento principalmente se da del Este a Oeste y viceversa, esto se debe a que el Lago Titicaca influencia en el sentido del viento, también se observa que los vientos más rápidos se encuentran en la dirección mencionada.



**Figura 11.** Rosa de vientos para el mes de noviembre de 2023.

Podemos observar en la figura 10, en el mes de noviembre y al igual que en el mes de octubre, la orientación del viento principalmente se da del Este al Oeste y viceversa, de la misma manera, los vientos más rápidos se dan en el sentido del Oeste.



**Figura 12.** Rosa de vientos para el mes de diciembre de 2023.

De acuerdo a la figura 11, en el mes de diciembre y al igual que los dos meses anteriores, el sentido del tiene una dirección de Este al Oeste y viceversa, confirmando con esto que en la comunidad de Cuyuraya el sentido del viento tiene un comportamiento homogéneo.

#### 4.1.3 Cálculo del potencial eólico.

- **Selección del aerogenerador.**

Para la selección del aerogenerador, hemos contactado con una empresa peruana Trex Perú SAC (TREX, 2024). quienes nos han proporcionado una ficha técnica (ver Anexo 07) de varios tipos de aerogeneradores los que dependiendo del consumo a realizar se podría elegir desde 100 hasta 600 Watts de potencia. La que se propone utilizar en la comunidad de Cuyuraya es de las siguientes características:

**Tabla 08.** Características del aerogenerador seleccionado marca Wind Power modelo RC-500.

Aspectos Técnicos	Valores
Hélice	3 hojas
Material	Nailon reforzado
Diámetro del rotor	1.65 [m]
Voltaje	12/24 AC (Corriente Alterna)
Velocidad mínima para cargar	2.5 [m/s]
Rendimiento (Peak Ouput)	500[W]
Máxima Velocidad del Viento	45 [m/s]

- **Aplicación de la ecuación para el cálculo del potencial eólico.**

$$\text{Potencial eólico} = \frac{1}{2} * \rho * v^3 * r^2 * \pi$$

Dónde:

p: Densidad de la zona de estudio

v: Velocidad media (factor de escala c en m/s)

r: Radio del rotor del aerogenerador

Para hallar la densidad de la zona debemos de utilizar la siguiente fórmula:

$$\rho = 1.225e^{\left[\frac{-z}{8435} - \frac{T-15}{288}\right]}$$

donde:

p = densidad de la zona de estudio

z = altitud de Cuyuraya.

T = temperatura de la comunidad de Cuyuraya.

**Tabla 09.** Potencial eólico de la comunidad de Cuyuraya.

Mes	Densidad [kg/m <sup>3</sup> ]	Velocidad media [m/s]	Radio del RC-500 [m]	Potencial Eólico [W/m <sup>2</sup> ]
Octubre	0.78214403	18.97	0.825	5,708.42767
Noviembre	0.78214403	24.95	0.825	12,987.51790
Diciembre	0.78214403	22.58	0.825	9,626.89694

Como podemos observar en la tabla 09, el potencial eólico en la comunidad de Cuyuraya de octubre a diciembre del 2023, a oscilado entre 5,700 [watts/m<sup>2</sup>] y 12,987 [watts/m<sup>2</sup>], y que haciendo un promedio simple nos devuelve un valor promedio de potencial eólico para la zona de **9,440 [W/m<sup>2</sup>]**, valor que por demás está comentar es un resultado muy prometedor.

#### 4.2. RESPECTO AL SEGUNDO OBJETIVO ESPECÍFICO.

**Determinar la relación entre la emisión de CO<sub>2</sub> y la generación de electricidad con el uso de energía convencional en la comunidad de Cuyuraya.**

Para el cálculo del consumo de energía eléctrica que se realiza en la comunidad de Cuyuraya debemos utilizar el consumo registrado en un recibo de Electro Puno S.A., para ello hemos tomado como referencia el recibo de uno de los pobladores de ésta comunidad (Ver Anexo 07), donde refiere que el consumo es de 8 Kw/hora, o lo que es lo mismo 8000 watts/hora, éste valor promedio debemos de multiplicarlo por el número de viviendas que de acuerdo al teniente gobernador de la Comunidad es igual a 47; por lo que el consumo mensual en la comunidad de Cuyuraya es igual a 376 Kw/hora y por ende el consumo anual será de 4512 Kw/hora.

Con el valor del consumo en la comunidad de Cuyuraya ahora utilizaremos la aplicación en línea de la ONG ECODES quien junto con la ONG CEROCO2 a nivel mundial son organizaciones quienes han venido trabajando en temas relacionados a la emisión de CO<sub>2</sub> en el planeta, para ello accederemos al enlace <https://ecodes.org/tiempo-de-actuar/hogares-sostenibles/ahorro-energetico/calculadora-el>

electricidad, donde ingresaremos el consumo anual y como se vé en la siguiente figura se obtiene los resultados siguientes:

**Calculadora de Huella de Carbono del consumo eléctrico:**

Introduce tu consumo de electricidad (en kWh).

kWh

¿Tienes energía verde contratada?  
*Si tienes contratado un servicio de suministro eléctrico de origen 100% renovable, tus emisiones de CO2 serán cero.*

No     Sí

**Tu huella de carbono es de: 1849,92 Kg de CO2 eq**

Y ahora que ya conoces tus emisiones de CO2.  
¿Quieres compensarlas y reducir así tu huella de carbono?  
[Pincha aquí](#) para compensar tus emisiones

Datos facilitados por CeroCO2

**Figura 13.** Resultados de la calculadora en línea para determinar el CO<sub>2</sub> equivalente al consumo eléctrico.

**Fuente:**

<https://ecodes.org/tiempo-de-actuar/hogares-sostenibles/ahorro-energetico/calculadora-el-ectricidad>.

Como puede apreciarse en la figura 12, el resultado del consumo de energía eléctrica equivalente a las emisiones de CO<sub>2</sub> durante un año en la comunidad de Cuyuraya es igual a **1.849** Toneladas de CO<sub>2</sub> al año.

De acuerdo a la calculadora de huella de carbono se puede observar que: a más consumo de energía eléctrica, más generación de CO<sub>2</sub> por lo que procederemos a calcular la proporción:

$$ECO_2 = f \times EC$$

Donde:



EC = Energía eléctrica consumida.

f = factor de proporción

ECO<sub>2</sub> = Emisiones de CO<sub>2</sub>

de lo que se deduce que  $f = \text{ECO}_2/\text{EC}$ , reemplazando valores  $f = 1849.92 / 4512$ ; resultando el factor de proporcionalidad igual 0.41.

### 4.3. PROCESO DE LA PRUEBA DE HIPÓTESIS.

#### 4.3.1. Comprobación de la Hipótesis General.

Dada la afirmación: El potencial de la energía eólica para la generación de electricidad es mayor a 300 W/m<sup>2</sup> y su implicancia es directa en la reducción del CO<sub>2</sub> en la comunidad de Cuyuraya - Huancané, 2023.

Planteamos la Hipótesis Nula:

**H<sub>0</sub>** = El potencial de la energía eólica para la generación de electricidad es mayor a 300 W/m<sup>2</sup> y su implicancia es directa en la reducción del CO<sub>2</sub> en la comunidad de Cuyuraya - Huancané, 2023.

La Hipótesis Alternativa:

**H<sub>1</sub>** = El potencial de la energía eólica para la generación de electricidad **no es** mayor a 300 W/m<sup>2</sup> y su implicancia es directa en la reducción del CO<sub>2</sub> en la comunidad de Cuyuraya - Huancané, 2023;

De acuerdo a los resultados obtenidos en la tabla 04: Potencial eólico de la comunidad de Cuyuraya, donde se ha determinado que su valor promedio es igual 9440 [W/m<sup>2</sup>] y los resultados del apartado 4.2: Determinar la relación entre la emisión de CO<sub>2</sub> y la generación de electricidad con el uso de energía convencional en la comunidad de Cuyuraya; donde se ha calculado que las emisiones de CO<sub>2</sub> durante un año es igual a 1.849 Toneladas y demostrando que mientras más consumo de energía eléctrica se realice, directamente también se generará más CO<sub>2</sub>, en consecuencia **se acepta la hipótesis nula H<sub>0</sub>** y se rechaza la hipótesis alterna H<sub>1</sub>.

#### 4.3.2. Comprobación de la primera hipótesis específica.

Dada la afirmación: El potencial de energía eólica es mayor a  $300 \text{ W/m}^2$  en la comunidad de Cuyuraya, para la generación de electricidad.

Planteamos la Hipótesis Nula:

$H_0$  = El potencial de energía eólica es mayor a  $300 \text{ W/m}^2$  en la comunidad de Cuyuraya, para la generación de electricidad.

La Hipótesis Alterna:

$H_1$  = El potencial de energía eólica **no** es mayor a  $300 \text{ W/m}^2$  en la comunidad de Cuyuraya, para la generación de electricidad.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la tabla 04: Potencial eólico de la comunidad de Cuyuraya, donde se ha determinado que su valor promedio es igual  $9440 \text{ [W/m}^2]$  y éste siendo mucho mayor a  $300 \text{ [W/m}^2]$  **se acepta la hipótesis nula  $H_0$**  y se rechaza la hipótesis alterna  $H_1$

#### 4.3.3. Comprobación de la segunda hipótesis específica.

Dada la afirmación: La relación entre la emisión de  $\text{CO}_2$  y la generación de electricidad con el uso de energía convencional en la comunidad de Cuyuraya, es directa

Planteamos la Hipótesis Nula:

$H_0$  = La relación entre la emisión de  $\text{CO}_2$  y la generación de electricidad con el uso de energía convencional en la comunidad de Cuyuraya, es directa

La Hipótesis Alterna:

$H_1$  = La relación entre la emisión de  $\text{CO}_2$  y la generación de electricidad con el uso de energía convencional en la comunidad de Cuyuraya, **no** es directa

De acuerdo a los resultados en el apartado 4.2: Determinar la relación entre la emisión de  $\text{CO}_2$  y la generación de electricidad con el uso de energía convencional en la comunidad de Cuyuraya; donde se ha calculado que las emisiones de  $\text{CO}_2$  durante un año es igual a 1.849 Toneladas y demostrando que mientras más consumo de energía eléctrica se realice, directamente también se generará más  $\text{CO}_2$ , por ende se demuestra la relación

directa, en consecuencia **se acepta la hipótesis nula  $H_0$**  y se rechaza la hipótesis alterna  $H_1$ .

#### **4.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.**

En éste apartado tenemos que a nivel internacional, el investigador Díaz (2018), ha obtenido como resultado una energía anual igual a 37194.954 kW, lo que es aproximadamente 4 veces más que en nuestro caso, Betanco (2019) encontró una velocidad media de 11.19 [m/s] lo cual es la mitad de la velocidad respecto a los resultados de la presente investigación, éste autor ha enfocado su trabajo en la utilización de la energía producida de 868 familias que en comparación de la nuestra es de 47 sóloamente.

A nivel nacional Mendoza (2018) ha encontrado un energía potencial de 347.57 W/m<sup>2</sup>, valor que es inferior al nuestro, sin embargo a pesar de ello propone un sistema de energía eólico; Achuma (2019) en el distrito de San Jerónimo en la ciudad de Cuzco ha reportado sóloamente una velocidad media de 6.4 m/s manifestando que un sistema eólico podría cubrir el 46.20% de la totalidad de la población; en nuestro caso, el consumo de energía de la comunidad es tan bajo que el sistema propuesto bastaría de sobremanera para proporcionar la energía suficiente para la comunidad.

Algo contradictorio sucede en la investigación de Yancachajlla et. al. (2019) en la ciudad de Juliaca o la denominada “ciudad de los vientos”, donde el autor ha reportado una velocidad del viento igual a 1.45 m/s y con un potencial eólico igual a 16.912 W/m<sup>2</sup>, valor que es muy bajo debido a que los aerogenerador normalmente arrancan con un mínimo de 2 m/s de velocidad, sin embargo es lo opuesto a nuestra investigación, a pesar de que son ciudades que están a 1 hora de distancia.

## CONCLUSIONES

**PRIMERA:** El potencial de la energía eólica, para la generación de electricidad y su implicancia en la reducción de CO<sub>2</sub> en la comunidad de Cuyuraya - Huancané, en el año 2023 ha resultado en 9,440 [W/m<sup>2</sup>] de generación eléctrica lo cual implicaría una reducción de emisión de CO<sub>2</sub> que equivalen a 1.849 toneladas.

**SEGUNDO:** El potencial de energía eólica en la comunidad de Cuyuraya, para la generación de electricidad, con la utilización de un aerogenerador de marca Wind Power modelo RC-500, teniendo como fuente un velocidad media del viento igual a 22.58 [m/s] se ha obtenido un valor promedio de 9,440 [W/m<sup>2</sup>].

**TERCERO:** La relación entre la emisión de CO<sub>2</sub> y la generación de electricidad con el uso de energía convencional en la comunidad de Cuyuraya, ha resultado en una relación directa y proporcional entre ambas variables, con un factor de proporción igual a 0.41, es decir que si el consumo de energía eléctrica en la comunidad de Cuyuraya se incrementa, la cantidad de CO<sub>2</sub> también se incrementa en proporción de 0.41 veces.

## RECOMENDACIONES

**PRIMERA:** A las autoridades responsables de implementar sistemas de producción de energía eólica en la comunidad de Cuyuraya, zonas contiguas, para que implementen éste tipo de proyecto, pues resultan factibles y son de todas manera sostenibles desde cualquier punto de vista, además contribuirían de manera importantes con el medio ambiente y también con la economía de los usuarios.

**SEGUNDA:** A las autoridades académicas de universidades, instituciones educativas, para que puedan desarrollar estudios para la implementación de energía eólica dentro de sus instalaciones, como parte de su compromiso en el cuidado del medio ambiente.

**TERCERA:** A las miembros de la comunidad de Cuyuraya, para que a partir del presente estudio, tome en cuenta los resultados obtenidos y la propuesta, puesto que lo lógico sería implementar éste sistema eólico y ponerlo en funcionamiento lo mas antes posible.

## BIBLIOGRAFÍA.

Achuma Chunga, E. R. (2019). *Evaluación de la viabilidad del aprovechamiento del potencial eólico para la generación de energía eléctrica en el distrito de San Jerónimo, Cusco – 2019.*

Betanco Maradiaga, J. (2019). *Desarrollo de un sistema eólico para proveer energía eléctrica y su impacto en el desarrollo humano sostenible en la región de Las Segovias, período 2014-2030.* Universidad Nacional de Managua.

Castillo Nuñez, R. A. (2019). *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.*

Diaz Torres, L. F. (2018). *Evaluación del potencial eólico para la generación de energía eléctrica en el aeropuerto Teterboro, New Jersey, EE.UU.*  
<https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/5538>

Escobar Gaspar, S. B. (2020). *Medición del potencial recurso eólico en los distritos de Huancavelica, Paucarbamba, Pampas, Acobamba y Lircay.*

INFOCARBONO. (2023). INVENTARIO NACIONAL DE GASES DE EFECTO INVERNADERO. *Infocarbono.* <https://infocarbono.minam.gob.pe/inventarios-nacionales-gei/intro/>

ITE, I. de T. E. (2023). 4. *Vientos locales.*  
[https://jferrer.webs.ull.es/Apuntes3/Leccion03/4\\_vientos\\_locales.html](https://jferrer.webs.ull.es/Apuntes3/Leccion03/4_vientos_locales.html)

Luque Salas, J. (2018). *EVALUACIÓN DE LA VIABILIDAD DEL APROVECHAMIENTO DEL POTENCIAL EÓLICO PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL DISTRITO DE CHIGUATA – AREQUIPA, 2018.* [UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA].  
<https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjK-6qTvY6BAxVWJLkGHaeqAZA4ChAWegQIDBAB&url=https%3A%2F%2Frepositorio.unsa.edu.pe%2Fbitstreams%2Fb9b989fc-7acf-4d48-b261-cfd24dbf88a4%2Fdownload&usg=AOvVaw2Myv892dDMQY4A3DnmfgjG&opi=89978449>

Mendoza Artica, E. (2018). *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—2017 [UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION].  
<http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/905/3/Final%20tesis%20Esther.pdf.txt>
- Ministerio de Energía y Minas. (2016). *Atlas Eólico del Perú*.  
[https://www.minem.gob.pe/\\_publicacion.php?idSector=6&idPublicacion=537](https://www.minem.gob.pe/_publicacion.php?idSector=6&idPublicacion=537)
- Naranjo Toapanta, J. (2017). *Determinación del Potencial Eólico Disponible en el Sector de Río Blanco Perteneciente al Cantón Ambato Provincia de Tungurahua*. Universidad Técnica de Ambato.
- Ohoa, O. (2015). *Cambio climático*. prezi.com.  
<https://prezi.com/8od1hx215rpk/cambio-climatico/>
- Opinión. (2009, diciembre 20). *El cambio climático que se vive hoy*. Opinión Bolivia.  
<https://www.opinion.com.bo/articulo/el-pais/cambio-climatico-vive-hoy/20091220135050331855.html>
- Reátegui, A. (2018). *Evaluación del potencial eólico para la generación de energía eléctrica en la finca Santa Victoria Lamas 2018*.  
[https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwi3s9utuY6BAxWWGLkGHWwwDL8QFnoECA0QAQ&url=https%3A%2F%2Frepositorio.ucv.edu.pe%2Fbitstream%2Fhandle%2F20.500.12692%2F55455%2FRe%25C3%25A1tegui\\_PAR-SD.pdf%3Fsequence%3D1%26isAllowed%3Dy&usg=AOvVaw0ZGHVJWRfS1F5XBbWBTTx&opi=89978449](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwi3s9utuY6BAxWWGLkGHWwwDL8QFnoECA0QAQ&url=https%3A%2F%2Frepositorio.ucv.edu.pe%2Fbitstream%2Fhandle%2F20.500.12692%2F55455%2FRe%25C3%25A1tegui_PAR-SD.pdf%3Fsequence%3D1%26isAllowed%3Dy&usg=AOvVaw0ZGHVJWRfS1F5XBbWBTTx&opi=89978449)
- Soluciones Ecológicas. (2022). *Huella de carbono*.  
<https://www.solucionesecologicas.com.py/post/huella-de-carbono>
- Trex Perú S.A.C. (2024). *Aerogeneradores Eolicos. Santa Anita - Lima*.  
<https://trex.com.pe/empresa>
- Yancachajlla Tito, U. (2019). *Estimación del Potencial Energético Eólico para la Ciudad de Juliaca, Perú*.

## ANEXOS



**Anexo 01.** Ficha de recolección de datos para medir la velocidad y dirección del viento.

N°	Año <sup>(1)</sup>	Mes <sup>(2)</sup>	Día <sup>(3)</sup>	Hora <sup>(4)</sup>	Velocidad (m/s) <sup>(5)</sup>	Dirección <sup>(6)</sup>
1						
2						
3						
..						

(1) El año debe ser un número.

(2) El mes debe ser un número del 1 al 12

(3) El día debe ser un número del 1 al 30

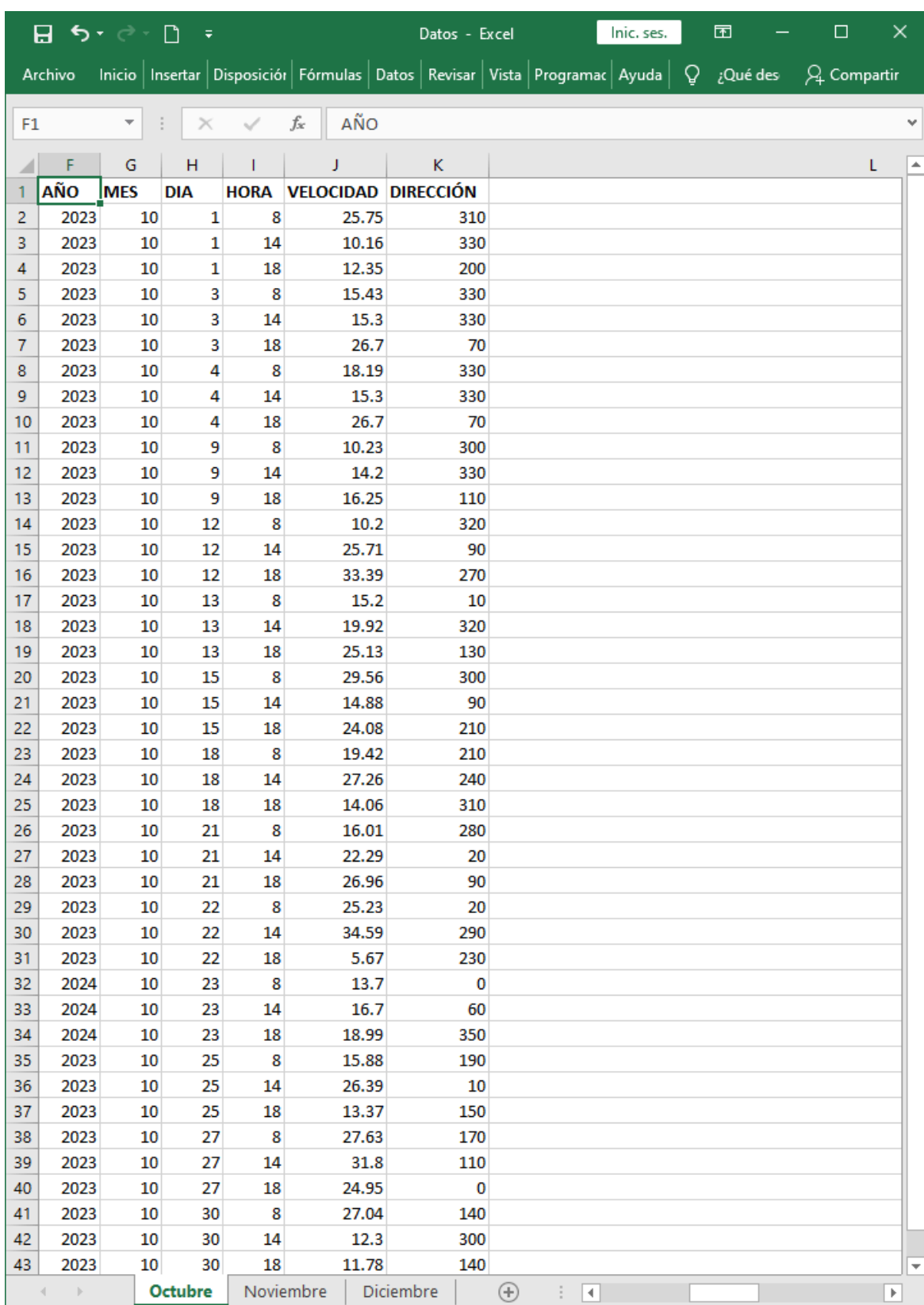
(4) La hora debe ser un número del 1 al 24

(5) La velocidad es un número real (hasta 2 decimales de precisión).

(6) La dirección del viento está medido desde 0° a 360°, un número del 0 al 360.

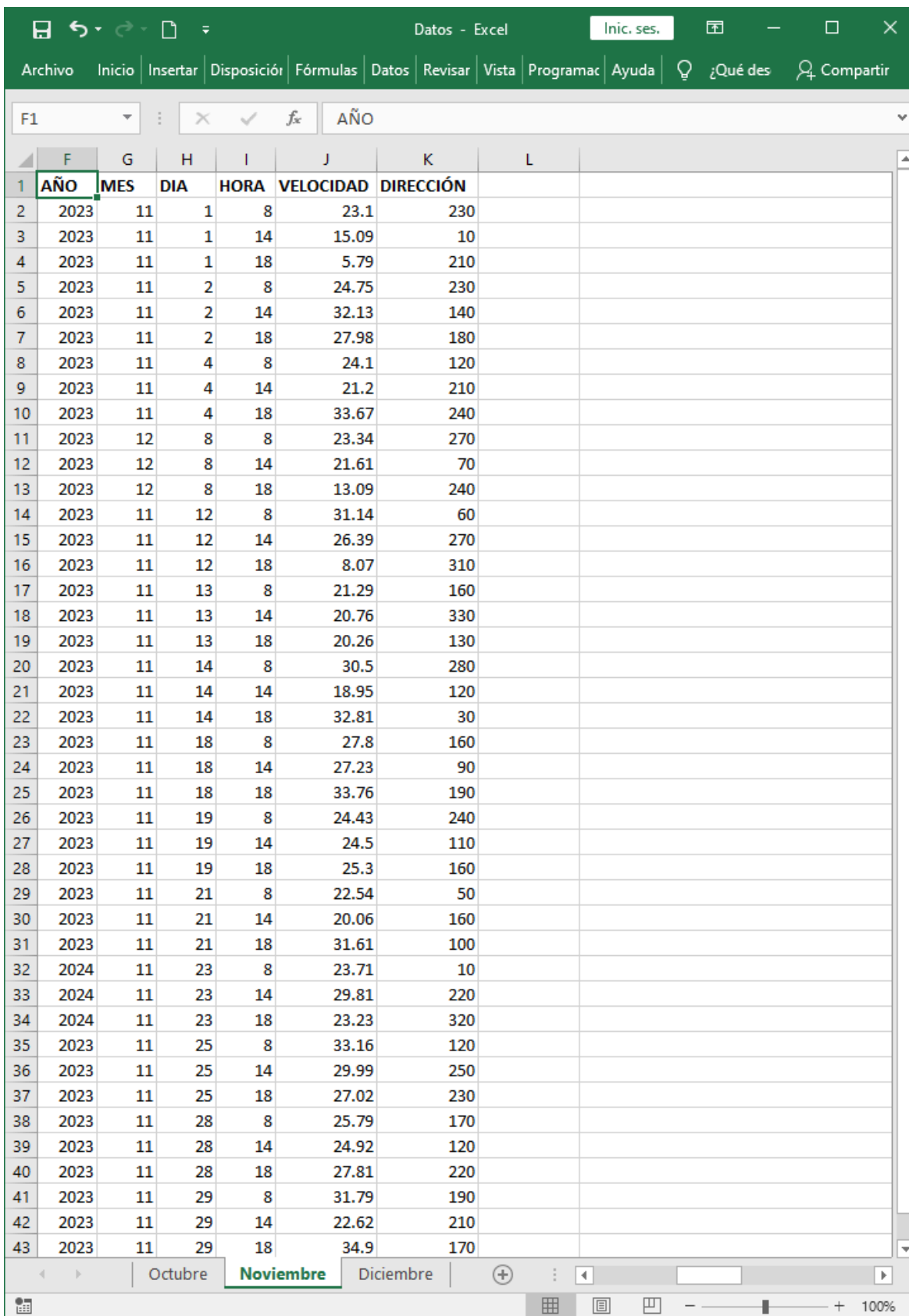
\*Todo el formato anterior es para que se pueda utilizar en el software WRPLOT View™.

**Anexo 02.** Tabulación de datos, en el software Microsoft Excel - mes de octubre de 2023.



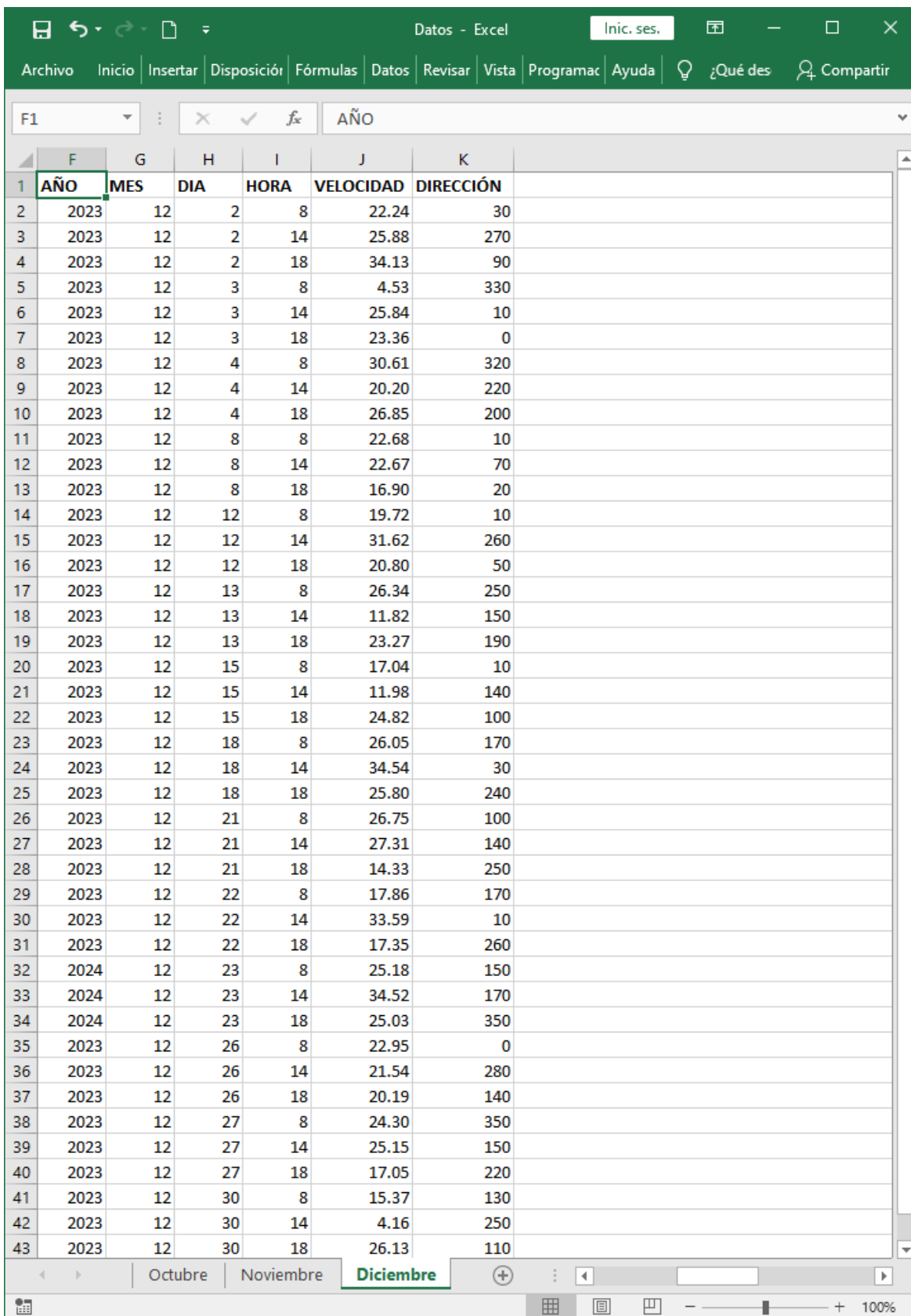
	F	G	H	I	J	K	L
1	AÑO	MES	DIA	HORA	VELOCIDAD	DIRECCIÓN	
2	2023	10	1	8	25.75	310	
3	2023	10	1	14	10.16	330	
4	2023	10	1	18	12.35	200	
5	2023	10	3	8	15.43	330	
6	2023	10	3	14	15.3	330	
7	2023	10	3	18	26.7	70	
8	2023	10	4	8	18.19	330	
9	2023	10	4	14	15.3	330	
10	2023	10	4	18	26.7	70	
11	2023	10	9	8	10.23	300	
12	2023	10	9	14	14.2	330	
13	2023	10	9	18	16.25	110	
14	2023	10	12	8	10.2	320	
15	2023	10	12	14	25.71	90	
16	2023	10	12	18	33.39	270	
17	2023	10	13	8	15.2	10	
18	2023	10	13	14	19.92	320	
19	2023	10	13	18	25.13	130	
20	2023	10	15	8	29.56	300	
21	2023	10	15	14	14.88	90	
22	2023	10	15	18	24.08	210	
23	2023	10	18	8	19.42	210	
24	2023	10	18	14	27.26	240	
25	2023	10	18	18	14.06	310	
26	2023	10	21	8	16.01	280	
27	2023	10	21	14	22.29	20	
28	2023	10	21	18	26.96	90	
29	2023	10	22	8	25.23	20	
30	2023	10	22	14	34.59	290	
31	2023	10	22	18	5.67	230	
32	2024	10	23	8	13.7	0	
33	2024	10	23	14	16.7	60	
34	2024	10	23	18	18.99	350	
35	2023	10	25	8	15.88	190	
36	2023	10	25	14	26.39	10	
37	2023	10	25	18	13.37	150	
38	2023	10	27	8	27.63	170	
39	2023	10	27	14	31.8	110	
40	2023	10	27	18	24.95	0	
41	2023	10	30	8	27.04	140	
42	2023	10	30	14	12.3	300	
43	2023	10	30	18	11.78	140	

**Anexo 03.** Tabulación de datos, en el software Microsoft Excel - mes de noviembre de 2023.



	F	G	H	I	J	K	L
1	AÑO	MES	DIA	HORA	VELOCIDAD	DIRECCIÓN	
2	2023	11	1	8	23.1	230	
3	2023	11	1	14	15.09	10	
4	2023	11	1	18	5.79	210	
5	2023	11	2	8	24.75	230	
6	2023	11	2	14	32.13	140	
7	2023	11	2	18	27.98	180	
8	2023	11	4	8	24.1	120	
9	2023	11	4	14	21.2	210	
10	2023	11	4	18	33.67	240	
11	2023	12	8	8	23.34	270	
12	2023	12	8	14	21.61	70	
13	2023	12	8	18	13.09	240	
14	2023	11	12	8	31.14	60	
15	2023	11	12	14	26.39	270	
16	2023	11	12	18	8.07	310	
17	2023	11	13	8	21.29	160	
18	2023	11	13	14	20.76	330	
19	2023	11	13	18	20.26	130	
20	2023	11	14	8	30.5	280	
21	2023	11	14	14	18.95	120	
22	2023	11	14	18	32.81	30	
23	2023	11	18	8	27.8	160	
24	2023	11	18	14	27.23	90	
25	2023	11	18	18	33.76	190	
26	2023	11	19	8	24.43	240	
27	2023	11	19	14	24.5	110	
28	2023	11	19	18	25.3	160	
29	2023	11	21	8	22.54	50	
30	2023	11	21	14	20.06	160	
31	2023	11	21	18	31.61	100	
32	2024	11	23	8	23.71	10	
33	2024	11	23	14	29.81	220	
34	2024	11	23	18	23.23	320	
35	2023	11	25	8	33.16	120	
36	2023	11	25	14	29.99	250	
37	2023	11	25	18	27.02	230	
38	2023	11	28	8	25.79	170	
39	2023	11	28	14	24.92	120	
40	2023	11	28	18	27.81	220	
41	2023	11	29	8	31.79	190	
42	2023	11	29	14	22.62	210	
43	2023	11	29	18	34.9	170	

**Anexo 04.** Tabulación de datos, en el software Microsoft Excel - mes de diciembre de 2023.



	F	G	H	I	J	K
1	AÑO	MES	DIA	HORA	VELOCIDAD	DIRECCIÓN
2	2023	12	2	8	22.24	30
3	2023	12	2	14	25.88	270
4	2023	12	2	18	34.13	90
5	2023	12	3	8	4.53	330
6	2023	12	3	14	25.84	10
7	2023	12	3	18	23.36	0
8	2023	12	4	8	30.61	320
9	2023	12	4	14	20.20	220
10	2023	12	4	18	26.85	200
11	2023	12	8	8	22.68	10
12	2023	12	8	14	22.67	70
13	2023	12	8	18	16.90	20
14	2023	12	12	8	19.72	10
15	2023	12	12	14	31.62	260
16	2023	12	12	18	20.80	50
17	2023	12	13	8	26.34	250
18	2023	12	13	14	11.82	150
19	2023	12	13	18	23.27	190
20	2023	12	15	8	17.04	10
21	2023	12	15	14	11.98	140
22	2023	12	15	18	24.82	100
23	2023	12	18	8	26.05	170
24	2023	12	18	14	34.54	30
25	2023	12	18	18	25.80	240
26	2023	12	21	8	26.75	100
27	2023	12	21	14	27.31	140
28	2023	12	21	18	14.33	250
29	2023	12	22	8	17.86	170
30	2023	12	22	14	33.59	10
31	2023	12	22	18	17.35	260
32	2024	12	23	8	25.18	150
33	2024	12	23	14	34.52	170
34	2024	12	23	18	25.03	350
35	2023	12	26	8	22.95	0
36	2023	12	26	14	21.54	280
37	2023	12	26	18	20.19	140
38	2023	12	27	8	24.30	350
39	2023	12	27	14	25.15	150
40	2023	12	27	18	17.05	220
41	2023	12	30	8	15.37	130
42	2023	12	30	14	4.16	250
43	2023	12	30	18	26.13	110

**Anexo 05.** Agrupación en 7 clases de los datos, de los meses de octubre a diciembre de 2023, en el software SPSS.

\*Sin título1 [ConjuntoDatos0] - IBM SPSS Statistics Editor de datos

Archivo Editar Ver Datos Transformar Analizar Gráficos Utilidades Ampliaciones Ventana Ayuda







16 :

	Octubre	ClasesOctubre	Noviembre	ClasesNoviembre	Diciembre	ClasesDiciembre
1	7.55	[5..10>	23.10	[20..25>	22.24	5.00
2	1.22	[0..5>	15.09	[15..20>	25.88	6.00
3	9.85	[5..10>	5.79	[5..10>	34.13	7.00
4	5.34	[5..10>	24.75	[20..25>	4.53	1.00
5	15.30	[15..20>	32.13	[30..35>	25.84	6.00
6	26.70	[25..30>	27.98	[25..30>	23.36	5.00
7	18.19	[15..20>	24.10	[20..25>	30.61	7.00
8	15.30	[15..20>	21.20	[20..25>	20.20	5.00
9	26.70	[25..30>	33.67	[30..35>	26.85	6.00
10	10.23	[10..15>	23.34	[20..25>	22.68	5.00
11	14.20	[10..15>	21.61	[20..25>	22.67	5.00
12	16.25	[15..20>	13.09	[10..15>	16.90	4.00
13	10.20	[10..15>	31.14	[30..35>	19.72	4.00
14	25.71	[25..30>	26.39	[25..30>	31.62	7.00
15	33.39	[30..35>	8.07	[5..10>	20.80	5.00
16	15.20	[15..20>	21.29	[20..25>	26.34	6.00
17	19.92	[15..20>	20.76	[20..25>	11.82	3.00
18	25.13	[25..30>	20.26	[20..25>	23.27	5.00
19	29.56	[25..30>	30.50	[30..35>	17.04	4.00
20	14.88	[10..15>	18.95	[15..20>	11.98	3.00
21	24.08	[20..25>	32.81	[30..35>	24.82	5.00
22	19.42	[15..20>	27.80	[25..30>	26.05	6.00
23	27.26	[25..30>	27.23	[25..30>	34.54	7.00
24	14.06	[10..15>	33.76	[30..35>	25.80	6.00
25	16.01	[15..20>	24.43	[20..25>	26.75	6.00
26	22.29	[20..25>	24.50	[20..25>	27.31	6.00
27	26.96	[25..30>	25.30	[25..30>	14.33	3.00
28	25.23	[25..30>	22.54	[20..25>	17.86	4.00
29	34.59	[30..35>	20.06	[20..25>	33.59	7.00
30	5.67	[5..10>	31.61	[30..35>	17.35	4.00
31	13.70	[10..15>	23.71	[20..25>	25.18	6.00
32	16.70	[15..20>	29.81	[25..30>	34.52	7.00
33	18.99	[15..20>	23.23	[20..25>	25.03	6.00
34	15.88	[15..20>	33.16	[30..35>	22.95	5.00
35	26.39	[25..30>	29.99	[25..30>	21.54	5.00
36	13.37	[10..15>	27.02	[25..30>	20.19	5.00
37	27.63	[25..30>	25.79	[25..30>	24.30	5.00
38	31.80	[30..35>	24.92	[20..25>	25.15	6.00
39	24.95	[20..25>	27.81	[25..30>	17.05	4.00
40	27.04	[25..30>	31.79	[30..35>	15.37	4.00
41	12.30	[10..15>	22.62	[20..25>	4.16	1.00
42	11.78	[10..15>	34.90	[30..35>	26.13	6.00
43						
44						
45						
46						

## Anexo 06. Ficha Técnica de Aerogeneradores Horizontales.



Los aerogeneradores son equipos que producen electricidad aprovechando la energía natural del viento. El mismo que es una fuente limpia, sostenible y que funciona de forma autónoma

Quotation for Horizontal Axis Wind Turbine						
Pic						
Model	RC-100	RC-200	RC-300	RC-400	RC-500	RC-600
Rated Output	100W	200W	300W	400W	500W	600W
Peak Output	150W	250W	400W	500W	650W	750W
Rated Voltage	12/24V AC	12/24V AC	12/24V AC	12/24V AC	12/24V AC	12/24V AC
Start-up Wind Speed	2 m/s	2 m/s	2 m/s	2 m/s	2.5 m/s	2.5m/s
Cut-in Wind Speed	3m/s	3m/s	3m/s	3m/s	3m/s	3m/s
Rated Wind speed	10m/s	10m/s	10m/s	10m/s	10m/s	12m/s
Survival Max. wind	50m/s	50m/s	50m/s	50m/s	45m/s	45m/s
Number of Blades	3/5/6	3/5/6	3/5/6	3/5/6	3	3
Rotor Diameter	1.1m	1.15m	1.3m	1.35m	1.65m	1.7m
Swept Area	0.95m <sup>2</sup>	1.04m <sup>2</sup>	1.33m <sup>2</sup>	1.43m <sup>2</sup>	2.14m <sup>2</sup>	2.27m <sup>2</sup>
Blade Material	Nylon reinforced composite					
Generator Type	Brushless 3-phase PMA with high performance Neodymium Magnets					
Generator case	Casting aluminum alloy					
Controller Type	PWM					
Over speed control	Automatically adjust windward direction					
Net Weight	6kg	6.5kg	7kg	12kg	12kg	12.5kg
Tower Connector	Flange or Hoop					
Flange Size *	DN20	DN20	DN20	DN25	DN25	DN25
Tower Type *	Guy Cable Tower					
Tower Size *	3mX2, 48-3mm			3mX2, 60-3mm		
Working Temp. range	from -40°C to 60°C					
Product Life	15 years					
Warranty	1 years					
Applications	solar & wind hybrid lighting, off-grid power system etc.					
Measurement	71*28*20.5	71*28*20.5	71*28*20.5	98*41*23cm	98*41*23cm	98*41*23cm
Gross Weight	6.5kg	7kg	7.5kg	14kg	14kg	14.5kg

Anexo 07. Recibo de Electro Puno S.A. del consumo de energía eléctrica en Cuyuraya.

www.electropuno.com.pe | ISO  
JL MARRANO H. CORNEJO 76° 180 PUNO  
R.U.C. 2042478182 TELEFONO: (051) 380056 - PUNO

Para asignación de constantes, por favor indicar el número de cliente (suministrador) en  
**2070005446**  
**MES FACTURADO Junio-2023**  
**RECIBO Nro. 5110 - 539840**

DATOS DEL CLIENTE	
NOMBRE:	VARGAS MAMANI ALFREDO
DIRECCIÓN:	COM. CUYURAYA SECT. 2 L-51
DPTO/PROV:	PUNO/HUANCAÑE/HUANCAÑE
RUTA:	310-11-13-001440 (D10-HUANCAÑE)

DATOS TÉCNICOS	
TARIFA:	6TSB - RESIDENCIAL
ALIMENT:	50-11 (205)
POTENCIA:	0.30 KW.
N° MEDIDOR:	607521399
SISTEMA:	0237 - AZANGARO RURAL SEC. TÍPICO: 4
ACOMETIDA:	AEREA
TENSIÓN:	220 V - BT
CONEXIÓN:	C.1.1
MONOFASICO-Electrónico-2 Hiles	

DETALLE DEL CONSUMO	
LECTURA ACTUAL:	2410 14 Jun 2023
LECTURA ANTERIOR:	2402 14 May 2023
DIFERENCIA DE LECTURA:	8 FACTOR: 1.00
CONSUMO FACTURADO	8.00 KW.h
PRECIO UNIT. S/. KW.h:	0.3173

DETALLE DE FACTURACIÓN	
CONCEPTO	IMPORTE S/
CARGO FIJO AJUSTADO	4.11
ENERGIA PRIMEROS 30 KWH AJUSTADA	2.54
MANTENIMIENTO Y REPOSICION DE LA CONEXION	1.58
<b>SUBTOTAL</b>	<b>8.23</b>
IGV 18%	1.48
<b>OTROS PAGOS</b>	
LEY 28749 ELECTRIFICACION RURAL	0.08
REDONDEO DEL MES	-0.09

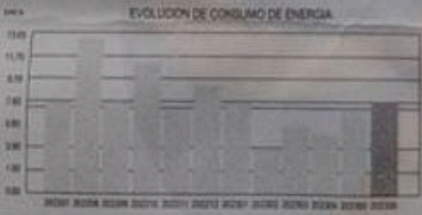
Afecto a Descuento Ley 31429 FOSE, Monto S/ -3.81

**TOTAL MES 9.70**

**TOTAL A PAGAR S/ \*\*\*9.70**

SON: NUEVE CON 70/100 SOLES

EVOLUCION DE CONSUMO DE ENERGIA



Monto 202304 S/ 0.00 Monto 202305 S/ 0.00

MENSAJES AL CLIENTE			
Próxima Facturación:			
Mes	F. Lectura	F. Factur.	F. Pago
Jul-2023	14-Jul-2023	20-Jul-2023	5-Ago-2023

Electro Puno comunica a Usted, que con el objetivo de servirle mejor se ha implementado la modalidad de envío de recibos mediante el correo electrónico; en caso que usted desee esta modalidad, contactarse a una de nuestras oficinas más cercanas a nivel de toda la Concepción, para poder registrarla.

FECHA EMISIÓN	FECHA VENCIMIENTO
20 Jun 2023	05 Jul 2023

Beneficiario: LOLA REYNA  
CUI: PUNO - HUANCAÑE/HUANCAÑE  
Vale Digital FISE: 14-07-23-113386-7  
Valor de Depósito FISE: 525.00 SOLES  
Fecha Vencimiento: 20/09/2023

Unidad de Agentes Autorizados en la Pág. Web  
www.electropuno.com.pe  
PARA REALIZAR EL CANJE SE DEBE VERIFICAR OBLIGATORIAMENTE EL CUI

PAGUE SÓLO EN CENTROS AUTORIZADOS NO AL MENSAJERO  
MES FACTURADO Junio-2023 VENCIMIENTO 05 Jul 2023  
TOTAL S/ 9.70 207-0005446

S110 - 539840 2023001000002888893  
www.electropuno.com.pe | ISO  
VARGAS MAMANI ALFREDO  
001 - 10 - HUANCAÑE/HUANCAÑE  
310-11-13-001440

**Anexo 61 08: MATRIZ DE CONSISTENCIA.**

POTENCIAL DE LA ENERGÍA EÓLICA PARA LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD Y SU IMPLICANCIA EN LA REDUCCIÓN DE EMISIONES DE CO2 EN LA COMUNIDAD DE CUYURAYA - HUANCANE, 2023.

PROBLEMA	OBJETIVOS		HIPÓTESIS		VARIABLES	INDICADORES	INSTRUMENTOS	TÉCNICA DE PROCESAMIENTO DE DATOS
	OBJETIVO GENERAL	OBJETIVO ESPECÍFICO	HIPÓTESIS GENERAL	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS				
¿Cuál es el potencial de la energía eólica, para la generación de electricidad y su implicancia en la reducción de CO <sub>2</sub> en la comunidad de Cuyuraya - Huancané, 2023?	Determinar el potencial de la energía eólica, para la generación de electricidad y su implicancia en la reducción de CO <sub>2</sub> en la comunidad de Cuyuraya - Huancané, 2023.		El potencial de la energía eólica para la generación de electricidad es mayor a 300 W/m <sup>2</sup> y su implicancia es directa en la reducción del CO <sub>2</sub> en la comunidad de Cuyuraya - Huancané, 2023.		V. INDEPENDIENTE Potencial de Energía eólica.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Densidad</li> <li>Velocidad media</li> <li>Radio del rotor del aerogenerador</li> </ul>	Ficha de registro de información. Anemómetro de mano.	Estadística Descriptiva. Software en línea "Cero CO <sub>2</sub> "
<b>PROBLEMA ESPECÍFICO</b>	<b>OBJETIVO ESPECÍFICO</b>	<b>HIPÓTESIS ESPECÍFICAS</b>			V. DEPENDIENTE NTE Generación de electricidad y su implicancia en la emisión de CO <sub>2</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Consumo eléctrico</li> <li>Cantidad de CO<sub>2</sub></li> </ul>		
¿Cuál es el potencial de energía eólica en la comunidad de Cuyuraya, para la generación de electricidad?	Determinar el potencial de energía eólica en la comunidad de Cuyuraya, para la generación de electricidad.		El potencial de energía eólica es mayor a 300 W/m <sup>2</sup> en la comunidad de Cuyuraya, para la generación de electricidad.					
¿Cuál es la relación entre la emisión de CO <sub>2</sub> y la generación de electricidad a partir del uso de energía convencional en la comunidad de Cuyuraya?	Determinar la relación entre la emisión de CO <sub>2</sub> y la generación de electricidad con el uso de energía convencional en la comunidad de Cuyuraya.		La relación entre la emisión de CO <sub>2</sub> y la generación de electricidad con el uso de energía convencional en la comunidad de Cuyuraya, es directa.					