



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA FÍSICA**

**MODELOS SINÓPTICOS PARA DETERMINAR LA VELOCIDAD  
DEL VIENTO EN LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

**BIOFÍSICO**

**AUTOR:** PABLO LEONIDAS VARGAS CHIMBO

**DIRECTOR:** Dr. ARQUÍMIDES XAVIER HARO VELASTEGUÍ PhD.

Riobamba – Ecuador

2022

© 2022, Pablo Leónidas Vargas Chimbo

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho del Autor.

Yo, PABLO LEONIDAS VARGAS CHIMBO, declaro que el presente trabajo de integración curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de integración curricular. El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 23 de marzo de 2022

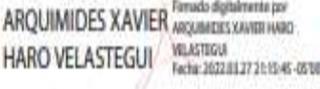


**Pablo Leonidas Vargas Chimbo**

**180473476-0**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA FÍSICA**

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: el Trabajo de Integración Curricular: Tipo Proyecto de Investigación: **MODELOS SINÓPTICOS PARA DETERMINAR LA VELOCIDAD DEL VIENTO EN LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO**, realizado por el señor **PABLO LEONIDAS VARGAS CHIMBO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Biof. Rosa Maricela Ormaza Hugo Dra. <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>	 ROSA MARICELA ORMAZA HUGO	2022-03-23
Dr. Arquimides Xavier Haro Velastegui PhD. <b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>	 ARQUIMIDES XAVIER HARO VELASTEGUI	2022-03-23
Dr. Celso Guillermo Recalde Moreno PhD. <b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>	 CELSO GUILLERMO RECALDE MORENO	2022-03-23

## **DEDICATORIA**

El presente Trabajo de Titulación lo dedico con mucho cariño a mis hijos, mis padres, y fundamentalmente a mi esposa que ella ha sido el pilar para sobre salir en mi tesis también a mis maestros que estuvieron durante todo el proceso académico.

*Pablo*

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a mi madre que ella fue la unica persona que me apoyo durante todo mi proceso academico moral y economicamente despues a mis hijos que ellos fueron el motor para seguir adelante y no desmayar y siempre mirar para el horizonte mi esposa la cual me faltan palabras para agradecerle que juntos de la mano lo logramos.

*Pablo*

## TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCIÓN.....	1

## CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	2
1.1. Antecedentes.....	2
1.2. Planteamiento del problema.....	3
1.2.1. <i>Enunciado del problema</i> .....	3
1.3. Justificación del problema.....	3
1.4. OBJETIVOS.....	4
1.4.1. <i>Objetivo General</i> .....	4
1.4.2. <i>Objetivos Específicos</i> .....	4
1.5. Marco Teórico.....	4
1.5.1. <i>Atmósfera terrestre</i> .....	4
1.5.2. <i>Dinámica atmosférica</i> .....	5
1.5.3. <i>Fenómenos asociados a la dinámica atmosférica</i> .....	6
1.5.4. <i>Características del Viento</i> .....	9
1.5.5. <i>Fuerzas que modulan las masas de aire o viento</i> .....	11
1.5.6. <i>Fuerza del Gradiente de Presión (FGP)</i> .....	11
1.5.7. <i>Fuerza de Coriolis (FCOR)</i> .....	12
1.5.8. <i>Fuerza Centrífuga (FC)</i> .....	12
1.5.9. <i>Fuerza de Fricción (FF)</i> .....	13
1.5.10. <i>Velocidad del viento</i> .....	13
1.5.11. <i>Dirección del viento</i> .....	13
1.5.12. <i>Presión y temperatura</i> .....	14
1.5.13. <i>Factores que afectan la velocidad del viento</i> .....	14
1.5.14. <i>Variación con respecto al tiempo</i> .....	14
1.5.15. <i>Variación con respecto a la altura</i> .....	15
1.5.16. <i>Presencia de turbulencia</i> .....	16

1.5.17.	<i>Medición y estudio de la velocidad del viento</i> .....	16
1.5.18.	<i>Métodos Directos</i> .....	17
1.5.19.	<i>Métodos Indirectos</i> .....	18
1.5.19.1.	<i>Modelo de Redes Neuronales Artificiales</i> .....	18
1.5.19.2.	<i>Ley exponencial de Hellman</i> .....	19
1.5.19.3.	<i>Modelos exponencial y logarítmica</i> .....	19
1.5.20.	<i>Modelos Físico – Matemáticos</i> .....	20
1.5.21.	<i>ArcGIS</i> .....	21
1.5.21.1.	<i>Funciones de ArcGIS</i> .....	22
1.5.21.2.	<i>ArcMap</i> .....	23

## CAPÍTULO II

2.	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	24
2.1.	<b>Tipo y diseño de la investigación</b> .....	24
2.2.	<b>Componente de análisis</b> .....	24
2.3.	<b>Población de estudio</b> .....	25
2.4.	<b>Tamaño de la muestra</b> .....	25
2.4.1.	<i>Tamaño de la muestra mediante la utilización de Kringing y IDW</i> .....	25
2.5.	<b>Descripción de las características de los elementos utilizado</b> .....	26
2.5.1.	<i>Calculadora Geodésica UTM-GEO</i> .....	26
2.5.2.	<i>Power Data</i> .....	27
2.5.3.	<i>ArcGIS</i> .....	28
2.5.3.1.	<i>Funciones de ArcGIS</i> .....	29
2.5.4.	<i>Especificaciones técnicas del equipo</i> .....	29
2.6.	<b>Recolección de datos</b> .....	30

## CAPÍTULO III

3.	<b>MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS</b> .....	33
3.1.	<b>Definición de los puntos focales para el análisis de datos</b> .....	33
3.2.	<b>Recolección de Información correspondiente a la variación del viento</b> .....	35
3.3.	<b>Mediciones del viento generado por el software libre</b> .....	36
3.4.	<b>Descarga y recolección de los registros meteorológicos</b> .....	37
3.4.1.	<i>Análisis y conteo de datos del viento</i> .....	38
3.4.2.	<i>Identificación de datos erróneos presentes en la serie de información</i> .....	40
3.5.	<b>Análisis e interpretación de resultados</b> .....	40

<b>3.6.</b>	<b>Representación gráfica de los resultados empleando el programa de ArcGIS.....</b>	<b>42</b>
<b>3.6.1.</b>	<i>Modelo de interpolación de datos- Modelo de Interpolación Kriging.....</i>	<i>43</i>
<b>3.6.2.</b>	<i>Modelo de interpolación de datos- Modelo de Interpolación IDW .....</i>	<i>43</i>
<b>3.6.3.</b>	<i>Representación de gráfica de indicadores .....</i>	<i>43</i>
<b>3.6.7.</b>	<i>Representación gráfica del comportamiento del viento .....</i>	<i>43</i>
<b>3.6.8.</b>	<i>Representación gráfica de indicadores a cincuenta metros .....</i>	<i>46</i>
<b>3.6.9.</b>	<i>Histogramas .....</i>	<i>58</i>
<b>3.6.10.</b>	<i>Interpretación del parámetro de isotaca .....</i>	<i>60</i>
 <b>CONCLUSIONES.....</b>		<b>62</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>		<b>63</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>		
<b>ANEXOS</b>		

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1</b>	Valor del $\alpha$ es el coeficiente de fricción .....	19
<b>Tabla 1-2</b>	Descripción de los programas computacionales.....	29
<b>Tabla 1-3:</b>	Ubicación de los puntos de medición.....	34
<b>Tabla 2-3:</b>	Datos registrados por mes de la velocidad del viento a 10 m.....	39
<b>Tabla 3-3:</b>	Datos erróneos por semana de la velocidad del viento .....	40
<b>Tabla 4-3:</b>	Frecuencia de resultados dentro del área de estudio.....	41
<b>Tabla 5-3:</b>	Valor mínimo y máximo alcanzada por el viento.....	57

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1.</b>	Efecto Convectivas .....	6
<b>Figura 2-1.</b>	Efecto Orográficas .....	7
<b>Figura 3-1.</b>	Efecto Ciclónicas .....	7
<b>Figura 4-1.</b>	Efecto Frente cálido .....	8
<b>Figura 5-1.</b>	Efecto Ocluido .....	8
<b>Figura 6-1.</b>	Efecto Gota fría.....	9
<b>Figura 7-1.</b>	Demostración grafica de la formación del viento.....	10
<b>Figura 8-1.</b>	Efecto de Coriolis (FCOR) .....	12
<b>Figura 9-1.</b>	Circulación diurna de las corrientes de viento .....	13
<b>Figura 10-1.</b>	Distribución territorial de la provincia .....	17
<b>Figura 11-1.</b>	Representación gráfica del modelo de red neuronal artificial .....	18
<b>Figura 12-1.</b>	Esquema grafico de la tecnología ArcGIS .....	22
<b>Figura 1-2.</b>	Zona de estudio provincia de Chimborazo .....	24
<b>Figura 2-2.</b>	Ubicación de los puntos de estudio.....	25
<b>Figura 3-2.</b>	Figura 3-2. Ubicación de los puntos de estudio mediante el método kriging y IDW .....	26
<b>Figura 4-2.</b>	Ventana principal de la calculadora UTM<>GEO .....	27
<b>Figura 5-2.</b>	Power Data .....	28
<b>Figura 6-2.</b>	Funciones de ArcGIS.....	29
<b>Figura 7-2.</b>	Recolección de datos .....	30
<b>Figura 8-2.</b>	Representación gráfica del procesamiento de datos .....	31
<b>Figura 9-2.</b>	Etapas para el procesamiento de datos .....	31
<b>Figura 10-2.</b>	Algoritmo de datos erróneos .....	32
<b>Figura 1-3.</b>	Interfaz de Power Nasa .....	33
<b>Figura 2-3.</b>	Mapa geográfico con la distribución de los puntos de medición .....	35
<b>Figura 3-3.</b>	Interfaz gráfica de DATA VIEW .....	36
<b>Figura 4-3.</b>	Formato de descarga de los datos del viento con sus parámetros de estudio.....	37
<b>Figura 5-3.</b>	Conteo mensual de cada punto de medición. ....	38
<b>Figura 6-3.</b>	Identificación de colores .....	41
<b>Figura 7-3.</b>	Registro meteorológico en la provincia de Chimborazo .....	42
<b>Figura 8-3.</b>	Comportamiento del viento.....	44
<b>Figura 9-3.</b>	Flujo del aire .....	44
<b>Figura 10-3.</b>	Balance de fuerzas .....	45

<b>Figura 11-3.</b>	Gradiente en sistemas de alta y baja presión .....	45
<b>Figura 12-3.</b>	Interpolación kriging y IDW .....	47
<b>Figura 13-3.</b>	Mapa primer trimestre .....	48
<b>Figura 14-3.</b>	Mapa segundo trimestre .....	49
<b>Figura 15-3.</b>	Mapa tercer trimestre .....	50
<b>Figura 16-3.</b>	Mapa cuarto trimestre .....	51
<b>Figura 17-3.</b>	Mapa primer trimestre 2021 .....	52
<b>Figura 18-3.</b>	Mapa segundo trimestre 2021 .....	53
<b>Figura 19-3.</b>	Mapa tercer trimestre 2021 .....	54
<b>Figura 20-3.</b>	Mapa cuarto trimestre 2021 .....	55
<b>Figura 21-3.</b>	Histogramas de cada trimestre de la velocidad del viento .....	58
<b>Figura 22-3.</b>	Histograma anual de la velocidad del viento .....	59
<b>Figura 23-3.</b>	Vientos más fuertes .....	60
<b>Figura 24-3.</b>	Isotaca por mes del 2021 .....	61

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-1:</b> Variación de velocidad del viento en un día .....	14
<b>Gráfico 2-1:</b> Variación de velocidad del viento a diferente altitud en un día.....	15
<b>Gráfico 3-1:</b> Curva exponencial de la velocidad del viento.....	16
<b>Gráfico 4-1:</b> Fórmula exponencial del perfil vertical del viento .....	20

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

- ANEXO A.** INTERFAZ GRÁFICA DE ARCMAP
- ANEXO B.** INTERFAZ GRÁFICA PARA AÑADIR DATOS AL PROGRAMA ARCMAP
- ANEXO C.** TABLA DE ATRIBUTOS DEL ARCHIVO DE DATOS EN FORMATO SHP .
- ANEXO D.** INTERFAZ PARA APLICAR EL MÉTODO DE INTERPOLACIÓN KRIGIN.
- ANEXO E.** INTERFAZ PARA AÑADIR ESTILO DE COLORES
- ANEXO F.** INTERFAZ GRÁFICA PARA INSERTAR UNA LEYENDA
- ANEXO G.** INTERFAZ PARA INSERTAR GRÁFICAS-HISTOGRAMAS
- ANEXO H.** MAPAS DISEÑADOS

## RESUMEN

El presente trabajo de titulación tuvo como objetivo determinar modelos sinópticos para determinar la velocidad del viento en la provincia de Chimborazo, mediante la de series de datos registradas en las estaciones del Grupo de Energías Alternativas y Ambiente (GEAA) ESPOCH del año 2021. Además, se determinó el modelo sinóptico que se ajustó al comportamiento de la velocidad el viento en la provincia de Chimborazo. Se generó, analizó, desarrolló, imputó y ajustó mapas en ArcGIS con la base de datos de las estaciones del GEAA y datos del modelo utilizado. El ajuste de los modelos sinópticos se dio mediante la realización de una base de datos registrados de la velocidad del viento en puntos específicos e incluidas cinco estaciones del GEAA ubicadas en la provincia. Se estudiaron dos modelos sinópticos el cual se eligió mediante su resolución espacial, que se ajustó a las series registradas. Una vez determinado el modelo se procedió a ajustar los contornos en ArcGIS mediante el método de interpolación de Kriging – ordinario e IDW donde se generaron mapas con una capacidad predictiva. Para el análisis estadístico se usó la técnica de la validación cruzada de la velocidad del viento, dando un error del 4% donde está en rango aceptable y se da una validez del modelo usado. Se concluyó que el modelo Power Data Accses Viewer escogido se adapta a las condiciones de la provincia de Chimborazo. Se recomienda seguir con la investigación y el estudio de modelos globales que se ajuste a las condiciones de la provincia a más de realizar estudios a proyecciones a mayor altura.

**Palabras clave:** <VELOCIDAD.>, <VIENTO>, <GRUPO DE ENERGÍAS ALTERNATIVAS Y AMBIENTE (GEAA)>, <MODELO POWER DATA ACCSES VIEWER>, <SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (ARGIS)>, <INTERPOLACIÓN DE KRIGING>, <INTERPOLACIÓN DE PONDERACIÓN DE DISTANCIA INVERSA (IDW)>.



## ABSTRACT

The aim of this degree work was to determine synoptic models to determine the wind speed in the province of Chimborazo, using the data series recorded at the stations of the Alternative Energies and Environment Group (GEAA) ESPOCH for the year 2021. In addition, the synoptic model that was adjusted to the behaviour of wind speed in the province of Chimborazo was determined. Maps were generated, analysed, developed, imputed and adjusted in ArcGIS with the database of the GEAA stations and data from the model used. The adjustment of the synoptic models was done by making a database of recorded wind speed data at specific points and including five GEAA stations located in the province. Two synoptic models were studied and chosen for their spatial resolution, which was adjusted to the recorded series. Once the model was determined, the contours were adjusted in ArcGIS using the Kriging - Ordinary and IDW interpolation methods, generating maps with predictive capacity. For the statistical analysis, the wind speed cross-validation technique was used, giving an error of 4%, which is within the acceptable range and gives the validity of the model used. It was concluded that the Power Data Acces Viewer model chosen is adapted to the conditions of the province of Chimborazo. It is recommended to continue with the research and study of global models that adjust to the conditions of the province as well as to carry out studies with projections at higher altitudes.

Key words: <VELOCITY>, <WIND>, <ALTERNATIVE ENERGY AND ENVIRONMENT GROUP (GEAA)>, <POWER DATA ACCESS VIEWER>, <GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM (ARGIS)>, <KRIGING INTERPOLATION>, <INVERSE DISTANCE WEIGHTING (IDW) INTERPOLATION>.

  
Dra. Carmita Eulalia Rojas Castro Mag.  
060289046-9

## **INTRODUCCIÓN**

En el presente trabajo de titulación se propone desarrollar un ajuste a los modelos sinópticos para determinar la velocidad del viento usando las estaciones meteorológicas del Grupo de Energía y Ambiente (GEAA).

El estudio del viento es fundamental para la ciencia atmosférica, puesto que permite analizar la dinámica de la atmosfera a través de su movimiento, así como apoyar diversos estudios con aplicaciones propias de la metodología, como calidad del aire, análisis del tiempo y el clima, sector energético, diseño de infraestructura, gestión de riesgos y operaciones aeronáuticas. Dada la relevancia del tema, resulta importante disponer de información a nivel local, regional, y global, del comportamiento de esta variable meteorológica, con el fin de proporcionar herramientas técnicas y científicas que apoyen el proceso de toma de decisión.

En el capítulo I, se expone el estudio de las pautas teóricas necesarias para el desarrollo del tema de trabajo de integración curricular, hace referencia a ciertas definiciones y métodos matemáticos que se emplean en la simulación y resolución de fenómenos naturales como a velocidad del viento, se realiza el estudio de las causas y efectos de la acción de ciertos agentes externos que limitan el estudio de la variación de la velocidad del viento.

En el capítulo II, se desarrolla el trabajo investigativo del tema mediante la aplicación de los softwares para el desarrollo del mismo mediante el cual se aplicaron tres softwares, el cual se ejecutó en toda la provincia del Chimborazo.

En el capítulo III, se interpreta los análisis y resultados del tema.

# CAPÍTULO I

## 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

### 1.1. Antecedentes

La velocidad del viento es una de las variables atmosféricas de mayor interés, debido a la importancia que tiene en las actividades humanas y sus aplicaciones.

Según la investigación realizada por Guevara L., analiza las posibles formulaciones de la representación de la variación del viento con la altura o perfil del viento, y se enfatiza sobre su correcta interpretación, dado que se aprecia cierta confusión en el uso de las fórmulas según las condiciones de estabilidad atmosféricas y la altura sobre el suelo, así como en la determinación de la altura de desplazamiento,  $d$  la altura de rugosidad,  $Z_0$ , y la velocidad del viento de fricción,  $\mu$ . La interacción del perfil del viento con la geografía, les permitió demostrar que entre un 20% y 30% de la energía eólica producida proviene de zonas donde los bosques afectan el flujo del viento, por lo tanto, el conocimiento de los parámetros  $d$  y  $Z_0$ , son altamente necesarios para evitar la sobreestimación de la velocidad del viento en zonas cubierta de vegetación o en zonas industriales. Se concluye que los modelos exponencial y logarítmico, y los modelos basados en la teoría de la similitud son las formulaciones utilizadas más frecuentemente en los problemas aplicados del viento en la climatología eólica relacionadas con la producción de energía limpia y con los modelos de dispersión de contaminantes (Guevara, 2013, p.23).

Por otra parte, Terrero Eduardo, Legrá Arístides A. y Lamorú Aliet, demostraron que se requiere obtener suficientes y adecuadas mediciones de la velocidad y la dirección del viento para modelar el comportamiento de estas variables y calcular los parámetros que caracterizan el potencial del viento; con estos resultados diseñaron los parques eólicos seleccionando los aerogeneradores más convenientes, determinando sus ubicaciones espaciales y diseñando la infraestructura tecnológica. La presente investigación tuvo como objetivo proponer el Método de Inverso de una Potencia de la Distancia (MIPD) para estimar la velocidad en coordenadas (Dia; Hora; Altura) donde se desconozca su valor; también, para casos semejantes, se propone este método para estimar la dirección del viento en coordenadas (D; H) (Terrero et al., 2014, p.12).

Corte P., Danitza M.; Sierra V., Fabio; Valencia O., Guillermo E, en su estudio realizado sobre el análisis de las mediciones de la velocidad del viento para una estación meteorológica localizada en la ciudad de Barranquilla, les permitió estimar las velocidades más frecuentes en esta zona. A partir de las funciones de densidad de probabilidad de Weibull (PDF) calculadas a partir de los histogramas para los años 2012 y 2013, fue posible predecir el comportamiento de la velocidad del viento para el año 2014, incurriendo en pequeños errores estadísticos en la predicción, lo cual permitió obtener una caracterización del recurso eólico en el lugar más acertada, posibilitando el

desarrollo de modelos para convertirla potencia del viento en energía eléctrica (Corte et al., 2015, p.32).

## **1.2. Planteamiento del problema**

### ***1.2.1. Enunciado del problema***

La provincia de Chimborazo está ubicada en la región centro o interandina de Ecuador, situada en la cordillera de los Andes. Por la influencia de la variación de la altura y la posición geográfica, se presenta con frecuencia una diferencia de la presión atmosférica que se desplaza de una zona a otra de la región, dando origen a fuertes corrientes de viento. Sin embargo, a pesar de los avances tecnológicos y de la ciencia, por factores meteorológicos se desconoce la exactitud del comportamiento o dinámica atmosférica del viento ya que es uno de los sistemas más complejos que se presenta en la naturaleza, además no existe un método analítico que pueda describir este tipo de sistemas, por esta razón es necesario emplear diferentes tipos de modelos físicos-matemáticos que den una descripción aproximada del sistema.

En este proyecto de grado se pretende estudiar el comportamiento del viento empleando un ajusten en el modelo sinóptico para determinar su velocidad.

## **1.3. Justificación del problema**

La dinámica atmosférica es uno de los sistemas físicos más complejos que se pueden encontrar en la naturaleza, y a pesar del desarrollo tecnológico y científico de la física en los actuales momentos, no existe un método analítico que pueda describir este tipo de sistemas, siendo necesario usar diferentes tipos de modelos físicos-matemáticos que den una descripción aproximada del sistema, es así que en la actualidad se ha logrado un importante avance en la descripción de estos sistemas, especialmente gracias al desarrollo de las computadoras.

Los modelos sinópticos en los últimos años se han desarrollado significativamente, gracias a la ayuda de las imágenes satelitales, adquiriendo una gran importancia en el campo de las ciencias y la ingeniería, que se presentan como una alternativa para desarrollar estudios en la dinámica atmosférica.

La velocidad del viento es una de las variables atmosféricas de mayor interés, debido a la importancia que tiene en las actividades humanas y sus aplicaciones, así que el conocimiento de su variación puede ser útil a toda la población, tanto urbana como rural de la provincia de Chimborazo.

La variación de esta en la provincia de Chimborazo se torna compleja por la influencia de la variación de la altura y la posición geográfica, tornándose su dinámica aún más complicada, razón

por la cual es necesario aplicar otros métodos que consideren estas variaciones y nos permitan dar una descripción más exacta del sistema.

## **1.4. OBJETIVOS**

### ***1.4.1. Objetivo General***

- Determinar la variación de la velocidad del viento en la provincia de Chimborazo usando modelos sinópticos.

### ***1.4.2. Objetivos Específicos***

- Monitorear parámetros de velocidad del viento en las estaciones del GEAA.
- Procesar, analizar e imputar datos de las series registradas.
- Determinar un modelo sinóptico que se ajuste al comportamiento de los datos registrados.
- Aplicar modelo a series de datos registrados.
- Establecer las variaciones entre las series de datos medidos usando el modelo determinado.

## **1.5. Marco Teórico**

### ***1.5.1. Atmósfera terrestre***

La atmósfera es una capa en forma de masa gaseosa que envuelve a la superficie de la Tierra, está compuesta por una combinación de diversos tipos de gases como aire y partículas de pequeña dimensión en estado líquidas o sólidas que se encuentran suspendidas en el aire. Al considerarse que el aire no es homogéneo en toda la capa atmosfera, se observa que la concentración de aire en ciertas zonas de la superficie terrestre es más densa.

La tropósfera es una de las capas más delgada del conjunto de capas de la atmosfera terrestre que se caracteriza por estar en contacto con la superficie de la tierra, tiene un espesor de 18 Km aproximadamente y es aquí donde ocurre todos los fenómenos meteorológicos importante para los seres vivos, como los vientos, lluvia, etc. Además, es muy importante ya que se considera como un regulador térmico del planeta.

El movimiento de las corrientes de aire que tiene lugar en la troposfera tiene dos componentes: la horizontal la más importante para los seres vivos y la vertical que siempre compensa el ascenso o descenso del aire.

### 1.5.2. *Dinámica atmosférica*

La Dinámica Atmosférica es la parte fundamental de la Ciencias Física que se aplica para comprender las leyes del movimiento y comportamiento de las corrientes de aire o fluidos atmosféricos, debido a que se basa en el estudio de la existencia y evolución de grandes masas de aire que se forman de manera espontánea en la tropósfera. Su objetivo dentro de las ciencias atmosféricas es desarrollar una comprensión cuantitativa del comportamiento de los procesos y sistemas presentes en la naturaleza.

A la Dinámica Atmosférica se considera como la Dinámica Newtoniana aplicada a la atmósfera porque se encarga de estudiar la relación entre los vientos y las fuerzas que lo producen. Establece que la fuerza que impulsa al movimiento de las masas de aire es un gradiente en la diferencia de la presión atmosférica lo que origina su desplazamiento de una zona a otra, por lo tanto, cuándo estas corrientes de aire están en desplazamiento, el movimiento será perturbada por otras fuerzas como la fuerza de rozamiento y la fuerza de Coriolis.

La aceleración a la que están sometidas las masas de aire que da como resultado el movimiento del viento, se debe a la acción de todas las fuerzas que actúan sobre la masa de aire con respecto a un sistema de referencia inercial, con la finalidad de equilibrar las diferencias de presión horizontales causadas por el calentamiento diferencial de la superficie terrestre.

En el análisis de la dinámica atmosfera también implica combinar un estudio tanto observacional como teóricas de los sistemas de movimiento meteorológico con el objeto de esclarecer las principales bases acerca del desarrollo de métodos para la predicción a corto plazo y de ciertas alteraciones que provocadas el cambio climático.

#### **Coordenadas geográficas**

$$x_g = r \cos \varphi \cos \lambda, \quad y_g = r \cos \varphi \sin \lambda, \quad z_g = r \sin \varphi \quad (1)$$

#### **Coordenadas cartesianas locales**

$$r = R \oplus + z \Rightarrow dr = dz, dx = r \cos \varphi d\lambda, dy = r d\varphi \quad (2)$$

#### **Conservación de masa**

$$\partial \rho / \partial t + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = 0 \quad (3)$$

#### **Ecuación de Navier-Stokes**

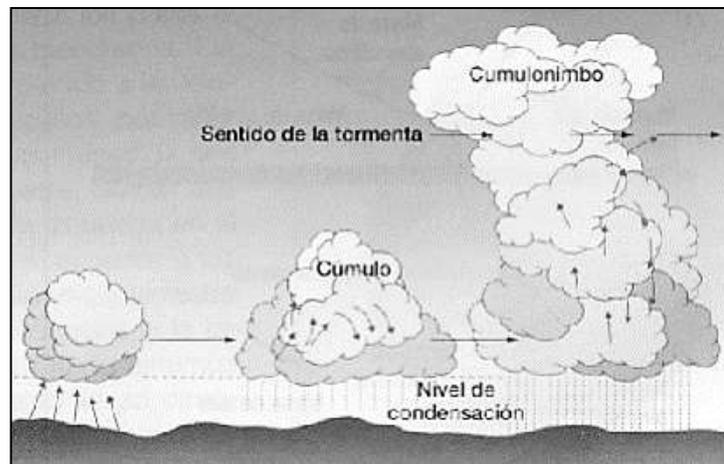
$$\frac{D\vec{u}}{Dt} = -\frac{1}{\rho} \nabla p - f \vec{z} \times \vec{u} + \vec{f}^{visc} = -\nabla \Phi - f \vec{z} \times \vec{u} + \vec{f}^{visc} \quad (4)$$

### Ecuación de movimiento horizontal

$$\frac{Du}{Dt} = - \frac{1}{\rho} \nabla p - 2\vec{\Omega} \times \vec{u} + \vec{f}^{visc} = -\nabla\Phi - f\vec{z} \times \vec{u} + \vec{f}^{visc} \quad (5)$$

#### 1.5.3. Fenómenos asociados a la dinámica atmosférica

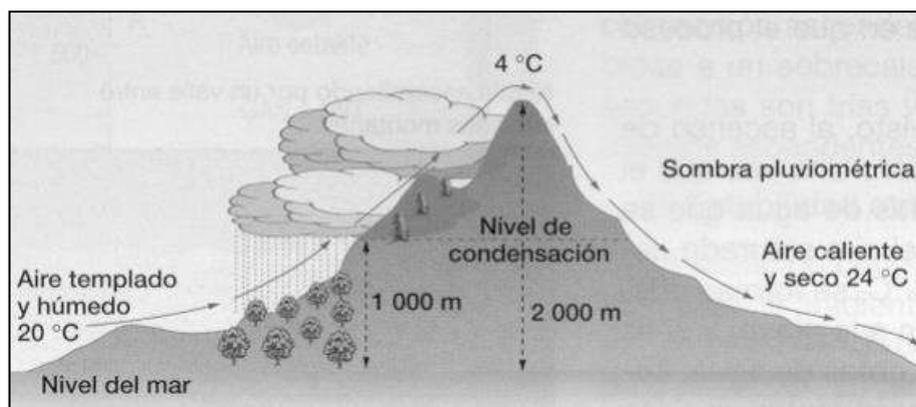
**CONVECTIVAS.** Este fenómeno tiene lugar cuando el aire asciende mediante movimientos verticales por los cambios de temperatura a raíz del calentamiento local o ascensión convectiva. Se considera que para que el aire (inestable) de la atmosfera ascienda es necesario que el gradiente adiabático sea menor que el gradiente vertical medio de temperatura; producto de esta diferencia hay la presencia de nubes de desarrollo vertical que dan lugar a precipitaciones tempestuosas acompañadas de granizo. (Dinámica Atmosférica, 2000, p.1).



**Figura 1-1.** Efecto Convectivas

**Fuente:** (Dinámica Atmosférica, 2000, p.1).

**OROGRÁFICAS.** Fenómeno que se forma a partir del movimiento horizontales de grandes masas de aire al chocar con una montaña, por la colisión masa objeto provoca que la masa de aire ascienda para evitar su pérdida total, a esta acción se determina como ascensión orográfica. En términos físicos este fenómeno se produce en 2 etapas: en un primer momento por una expansión se genera un ascenso adiabático hasta alcanzar un nivel de condensación óptimo, posterior a esta etapa se da paso al ascenso hidro adiabático, que a partir del mismo se forma grandes nubes estratificadas en la vertiente de barlovento, donde se producen las precipitaciones. (Dinámica Atmosférica, 2000, p.2).



**Figura 2-1.** Efecto Orográficas

Realizado por: (Dinámica Atmosférica, 2000, p.2).

**CICLÓNICAS O FRONTALES.** - Surgen a partir del contacto de dos masas de aire con características distintas y dimensión.

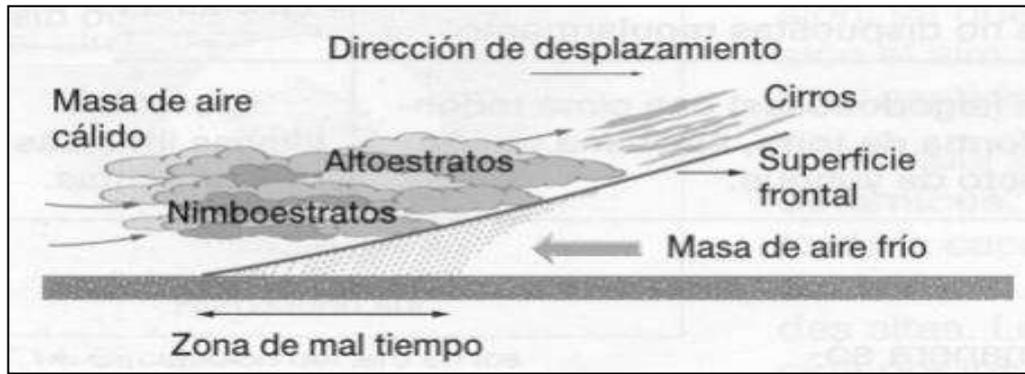
- **Frente frío:** Cuando el aire frío durante su desplazamiento espontáneo entra en contacto con el aire cálido presente, que al ser más denso se eleva por bajo éste. La superficie frontal es muy inclinada de forma que la condensación de aire se efectúa en forma de nubes en movimiento vertical o cumulonimbos, que causan la presencia de fuertes tormentas (Dinámica Atmosférica, 2000, p.3).



**Figura 3-1.** Efecto Ciclónicas

Realizado por: (Dinámica Atmosférica, 2000, p.3).

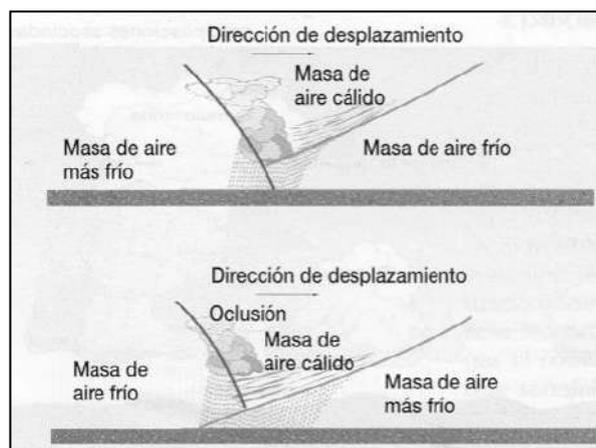
- **Frente cálido:** por lo contrario, en el caso donde el aire caliente que choca con el aire frío, pero al ser más ligero y menos denso se deslizará sobre él siguiendo una superficie menos inclinada. Dando lugar a una condensación que origina nubes que se desplazan horizontalmente o neves estratificadas: en las capas más bajas dan lugar a precipitaciones débiles y persistentes, y en las capas más altas, cirros, que no originan precipitaciones (Dinámica Atmosférica, 2000, p.4).



**Figura 4-1.** Efecto Frente cálido

Fuente: (Dinámica Atmosférica, 2000, p.4).

- **Ocluido:** El frente frío se desplaza con más rapidez en dirección al cálido y al alcanzarse, provoca la elevación u oclusión del aire caliente y quedando atrapado en las capas más bajas el aire frío en sus dos frentes. Cuando la masa de aire frío del frente avanza de forma rápida es menos fría en comparación a la que se desplaza más despacio, por lo tanto, la oclusión es cálida; en lo contrario, la oclusión es fría. Sin embargo, las precipitaciones son las asociadas a ambos frentes (Dinámica Atmosférica, 2000, p.5).



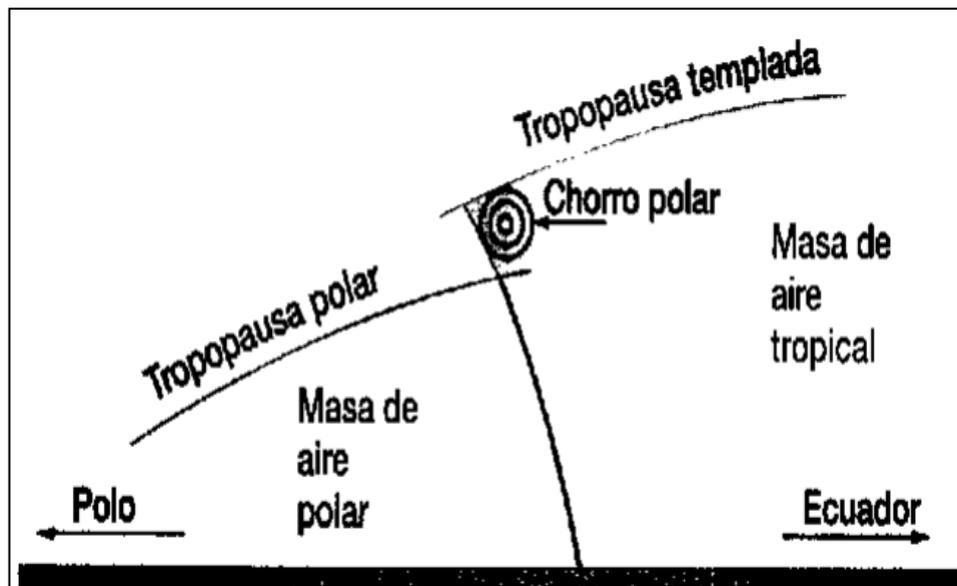
**Figura 5-1.** Efecto Ocluido

Realizado por: (Dinámica Atmosférica, 2000, p.5).

**LA GOTA FRÍA.** – es el fenómeno que se basa en un turbión de aire frío originado a grandes alturas, los mismo que no son reconocibles en los mapas meteorológicos de superficie, donde se registra una situación anti clónica. Y se origina por una ruptura de las sinuosidades de corriente en forma de chorro, dejando paso libre al aire polar para que puede penetrar entre los 30-45 grados

al sur en el hemisferio norte, permaneciendo aislada una pequeña masa de aire proporcionalmente una “gota” en medio de un océano de aire caliente.

Si la masa de aire con movimiento ascendente está cargada de humedad causa grandes precipitaciones (en invierno puede provocar copiosas nevadas) (Dinámica Atmosférica, 2000, p.6).



**Figura 6-1.** Efecto Gota fría

Realizado por: (Dinámica Atmosférica, 2000, p.6).

#### 1.5.4. Características del Viento

##### El viento

El aire se denomina como una envoltura gaseosa de la tierra, constituye una delgada capa fluida y turbulenta que se mueve con intensidad a causa de grandes contrastes térmicos, por lo tanto, al desplazamiento de estas grandes masas de aire con cierta velocidad y dirección se le denomina viento.

El viento es la representación de una serie de corriente de aire que se encuentran en constante movimiento debido al calentamiento de la Tierra generado por el efecto de los rayos del Sol que interacciona sobre ella. Por esta misma razón, la energía eólica es la energía derivada de la energía solar existente. Se estima que un 2% de la energía solar incidente sobre la Tierra es convertida en viento (León & García, 2018, p.1).

##### Fórmula exponencial del perfil vertical del viento

De seguida se discuten las diferentes fórmulas o médelos de mayor utilización para representar el perfil vertical del viento, esencialmente útiles para la condición de equilibrio atmosférico neutro. Para revisar este concepto y lo relacionado con las clases de equilibrio atmosférico, véase (Guevara 2008, p.3) Ecuación 6 y Ecuación 7:

$$\frac{VZ}{V_{ref}} = \left(\frac{Z}{Z_{ref}}\right)^\alpha \quad (6)$$

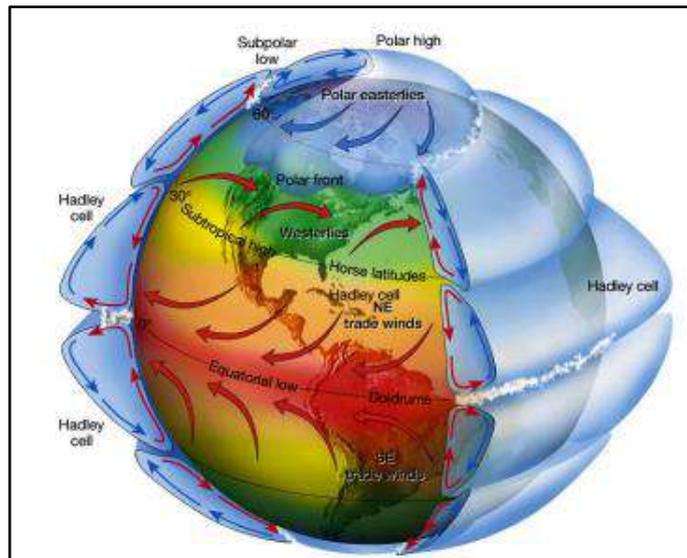
$$V = V_{ref} \left(\frac{Z}{Z_{ref}}\right)^\alpha \quad (7)$$

Donde:

VZ: Velocidad del viento a estimar a una altura Z sobre el nivel del suelo.

Vref: velocidad de referencia, velocidad del viento observada a una altura preestablecida denominada altura de referencia, Zref, generalmente a 10m o 2m, aunque puede ser otra.

$\alpha$ : exponente de rugosidad (wind shear exponent). varía entre 0,0 a 0,40 según el tipo de rugosidad del terreno.



**Figura 7-1.** Demostración grafica de la formación del viento

**Realizado por:** (León & García, 2008, p.5).

La acción del sol sobre la Tierra, calienta en mayor cantidad en la zona ecuatorial aumentando la temperatura de las masas de aire presente, por lo tanto, las masas calientes ascienden y se desplazan en dirección tanto el norte como hacia el sur del globo terráqueo, descendiendo al par que desciende la temperatura. A este movimiento se añade el efecto de la rotación de la tierra o fuerzas de Coriolis. Esto provoca que las masas de aire también sean movidas en dirección este y oeste, distribuyéndose en las zonas de presión de todo el globo terráqueo, como se puede apreciar en la Figura 7-1 (León & García, 2018, p.5).

Estas diferencias de las presiones dan paso a que las grandes masas de aire continúen con su desplazamiento, desde las zonas con mayor presión hacia las de baja presión. Este movimiento de rotación confiere al aire una determinada energía cinética, que depende de su masa y su velocidad, para determinar la potencia que se podrá extraer del viento. (León & García, 2018).

El gradiente de presión atmosférica está definido como la diferencia de presión en relación a la masa de aire por unidad de superficie, Ecuación 8:

$$\frac{dp}{dn} \quad (8)$$

Las diferencias de presión  $dp$  en el plano horizontal es responsable de los cambios en la aceleración de los flujos de aire. La misma que se expresa como una fuerza por unidad de masa perpendicular a las zonas isobaras (zonas con la misma presión atmosférica) y se conoce como Fuerza del gradiente de presión (FGP). Por lo tanto, la Fuerza del Gradiente de Presión se define (Ecuación 9) como inversamente proporcional a la densidad del aire ( $\rho$ ) y directamente proporcional al gradiente de presión ( $dp$ ):

$$FDP = \frac{F}{m} = -\frac{1}{\rho} \frac{dp}{dn} \quad (9)$$

Es decir, la fuerza GP es la aceleración del aire en relación a la diferencia de presión. Además, es la responsable del cambio en la aceleración de los flujos de aire presente en una región de presión atmosférica alta hacia zonas de bajas presiones, dando como origen a un sistema de vientos.

#### ***1.5.5. Fuerzas que modulan las masas de aire o viento***

El constante movimiento natural de un sistema de vientos, que se dirige desde el centro de las zonas con alta presión hacia las de baja presión, permite alcanzar un balance atmosférico entre las diferencia de presión, al alcanzar este balance generalmente presenta variaciones muy significativas en el tiempo y espacio (Cuenca & Lesmes, 2018, p.3).

Al sistema de viento se considera como una magnitud vectorial, que se caracteriza por tener ciertos parámetros como velocidad, dirección y un desplazamiento determinado por la acción de diferentes fuerzas sobre las masas de aire. (Cuenca & Lesmes, 2018, p.4).

Por lo tanto, la velocidad del viento es una magnitud que determina la fuerza y dirección del viento. (Cuenca & Lesmes, 2018, p.4).

#### **Fuerzas que modulan el viento**

El movimiento de un sistema de vientos es el resultado de una o varias fuerzas que actúan de forma directa sobre la partícula o masas de aire. Fundamentalmente, se conocen 4 tipos de fuerzas: fuerza del Gradiente de Presión, Coriolis, Centrífuga y Fricción (Cuenca & Lesmes, 2018, p.5).

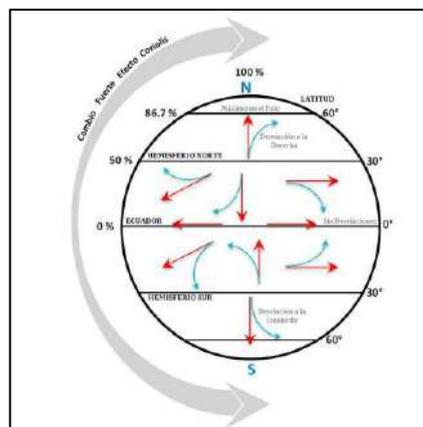
#### ***1.5.6. Fuerza del Gradiente de Presión (FGP)***

Es la fuerza determinada por un gradiente de diferencias de presión entre dos puntos de la atmósfera, esta fuerza tiende a desplazar las masas de aire desde zonas con alta presión hacia las

zonas de baja presión, con la finalidad de alcanzar un equilibrio barométrico (zonas con ausencia de presión uniforme). Además es la fuerza responsable del movimiento inicial del viento, por lo tanto, si no hay fuerza de gradiente de presión no existirá el movimiento de aire (Cuenca & Lesmes, 2018, p.6).

### 1.5.7. Fuerza de Coriolis (FCOR)

Es la fuerza que actúa en sentido perpendicular a la dirección del movimiento, forjando la desviación de la trayectoria del viento por la rotación de la Tierra con una velocidad angular  $\Omega$ . En el hemisferio norte, el efecto de Coriolis desvía el movimiento de las parcelas de aire hacia la derecha y en el hemisferio sur, desvía el movimiento hacia la izquierda. Esta fuerza aumenta en la medida que aumenta la velocidad del viento y la latitud en que se ubica el flujo. Teniendo en cuenta que, en el ecuador  $\varphi = 0^\circ$ , la aceleración de Coriolis tendrá un valor igual a cero. El efecto de esta fuerza se presenta con el aire en movimiento; para los casos en que las partículas permanecen en reposo, la influencia de Coriolis es nula (Cuenca & Lesmes, 2018, p.6).



**Figura 8-1.** Efecto de Coriolis (FCOR)

Realizado por: (Cuenca & Lesmes, 2018, p.6).

### 1.5.8. Fuerza Centrífuga (FC)

Es una fuerza ficticia que se manifiesta cuando el viento está en movimiento por la rotación de la Tierra como una acción de empuje radial desde el centro, es decir, desplaza las masas de aire del centro del eje de rotación. En la atmósfera, se presenta en los sistemas de alta y baja presión, dirigiéndose desde los centros de alta o baja presión hacia fuera. La FC es proporcional al cuadrado de la velocidad del aire e inversamente proporcional al radio de la curvatura de la trayectoria, Ecuación 10 (Cuenca & Lesmes, 2018, p.7):

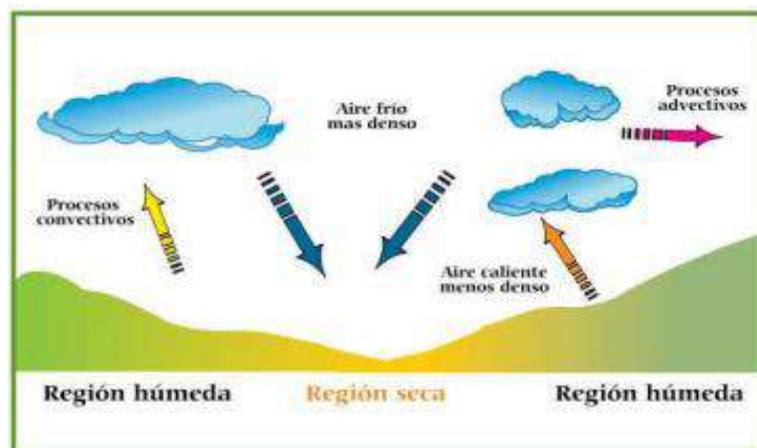
$$FC = \frac{V^2}{R} \quad (10)$$

### 1.5.9. Fuerza de Fricción (FF)

Es una de las fuerzas principales que influye en la velocidad del viento, causada por el rozamiento del aire contra la superficie terrestre, actúa a medida que el viento está cerca de la superficie hasta llegar entre los 500 a 1000 metros de altitud y deja de influir en altitudes superiores a 1000 m. Generando un retraso en la velocidad del flujo del viento y cambios en la dirección de su movimiento (Cuenca & Lesmes, 2018, p.8).

### 1.5.10. Velocidad del viento

El viento es un fenómeno que se presenta en forma muy irregular y que cubre cientos de miles de km de la superficie terrestre, lo que hace difícil su caracterización. Siendo el viento una magnitud vectorial, los parámetros que se emplean para su estudio son la dirección y la velocidad. Se la puede registrar mediante el uso de equipos meteorológicos. Por otra parte, la velocidad corresponde a la relación que existe entre una cierta distancia y el tiempo que se tarda en recorrerla (Flores, 2015, p.5).



**Figura 9-1.** Circulación diurna de las corrientes de viento

Realizado por: (Cuenca & Lesmes, 2018, p.13).

### 1.5.11. Dirección del viento

La dirección del viento es el parámetro eólico que define desde donde viene y hacia dónde va el viento, además, define la velocidad del viento en toda su componente horizontal, es decir, define

la magnitud del movimiento del viento a lo largo de toda su trayectoria horizontal con una velocidad constante.

### 1.5.12. *Presión y temperatura*

La presión y temperatura del viento son parámetros eólicos indispensable para determinar la densidad del aire, ya que son un indicador de la energía que posee las grandes masas de viento.

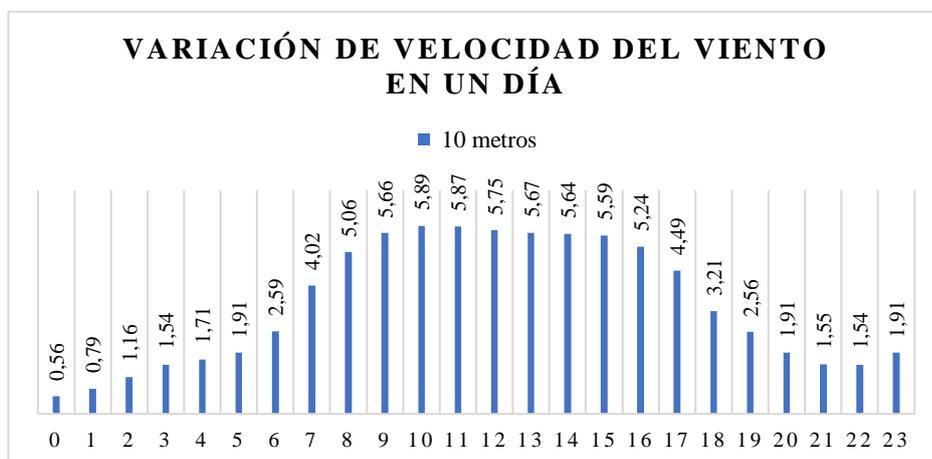
### 1.5.13. *Factores que afectan la velocidad del viento*

Se considera que la velocidad del viento se ve afectada por varios factores, como los factores naturales como la temperatura, vegetación, estación del año, orografía del terreno y los factores artificiales como construcciones permanentes, edificios, casas, etc. Estos factores perturban e incluyen no solo el régimen laminar del viento, sino también en su dirección.

### 1.5.14. *Variación con respecto al tiempo*

El tiempo es uno de los factores que influyen en la velocidad y dirección del viento puede variar en intervalos de tiempo corto desde minutos, horas y días e incluso periodos de tiempo más largos como meses y años, los mismo que a escalas de tiempo pequeñas o grandes son importantes y muy significativos para tener un registro de la velocidad del viento.

Es decir, la velocidad del viento es un parámetro inestable que está en constante fluctuación durante el transcurso del tiempo como en el espacio. En un día la velocidad varia constantemente por el efecto del calentamiento de la superficie de tierra y mar, como se muestra en el Gráfico 1-1:



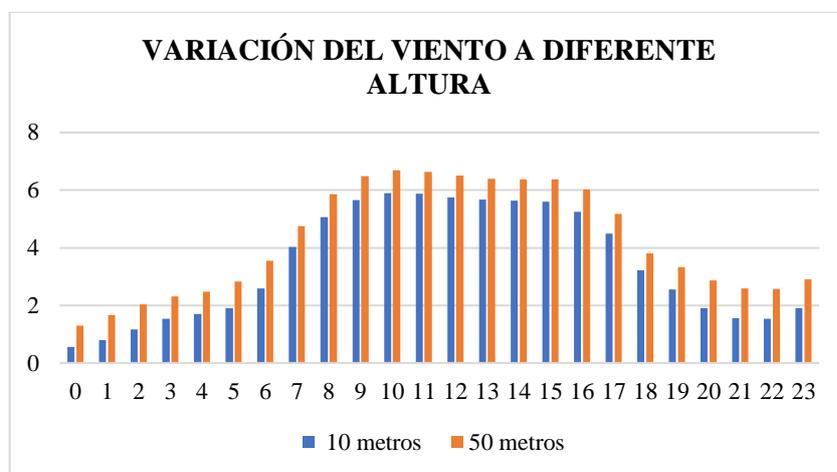
**Gráfico 1-1:** Variación de velocidad del viento en un día

Realizado por: Vargas, Pablo. 2022.

Los cambios diarios de la velocidad del viento también presentan modulaciones en la escala estacional, demostrando una alta variabilidad a través del año y destacando el comportamiento del viento en una región.

### 1.5.15. Variación con respecto a la altura

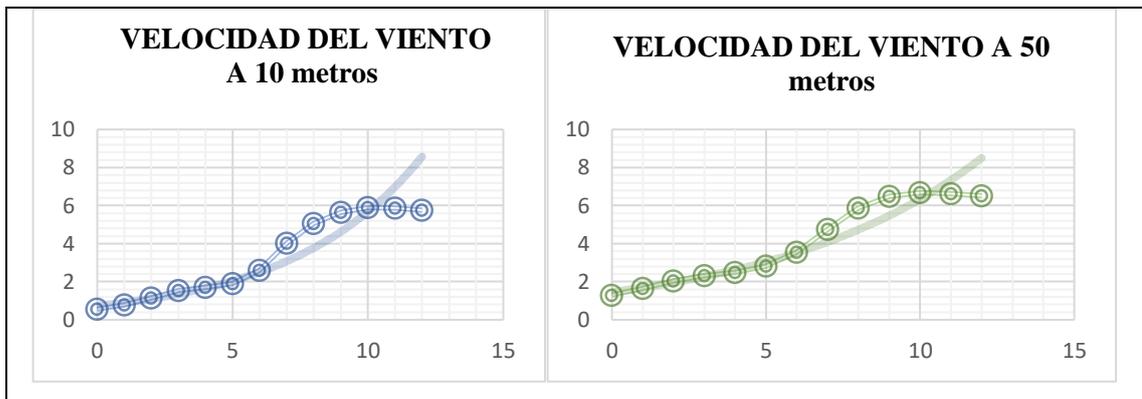
Otro factor que influye en la velocidad de un sistema de viento es la altitud, es decir se registra un aumento de la velocidad del viento cuanto mayor es la altitud. Esto ocurre por la acción de la fuerza de rozamiento de las masas de aire a grandes alturas, conforme a su descenso de la velocidad aproximándose a la superficie terrestre, se registra una disminución. Esto quiere decir que la velocidad del viento se verá afectada en mayor o menor medida considerando la altitud en que nos encontremos y por el efecto de otros factores como obstáculos presentes en el terreno, Gráfico 2-1:



**Gráfico 2-1:** Variación de velocidad del viento a diferente altitud en un día

Realizado por: Vargas, Pablo. 2022.

En la representación gráfica de velocidad del viento se observa un aumento en relación a la altura de forma exponencial, cuando existe menor fuerza de fricción. El patrón de la velocidad del viento sobre la superficie se denomina perfil de la velocidad del viento y permite conocer la velocidad del viento con respecto a la altura, a esta relación físicamente se denomina perfil vertical del viento (Clima Andino, 2015, p.23).



**Gráfico 3-1:** Curva exponencial de la velocidad del viento

Realizado por: Vargas, Pablo. 2022.

De acuerdo a la figura, se demuestra que cerca de la superficie terrestre, la capa de Prandtl, la velocidad del viento es baja. Cuanto más abrupta sea la superficie del terreno las corrientes de aire son fuertemente afectadas por el efecto de la orografía en el terreno, por la presencia de edificios, árboles, montañas y otros obstáculos que al interactuar con el viento reduce su velocidad.

#### ***1.5.16. Presencia de turbulencia***

Otro factor principal que contribuye a una alta variación de la velocidad del viento corresponde a la presencia de turbulencia que origina cambios inesperados e instantáneos en la dirección del viento, este fenómeno se observa especialmente en zonas que en su orografía presentan vegetación, edificios, e incluso los propios aerogeneradores.

Denominamos turbulencia a la permutación instantánea de la velocidad media de viento de una región específica que depende especialmente de las condiciones meteorológicas de la zona y su orografía.

#### ***1.5.17. Medición y estudio de la velocidad del viento***

Para obtener la información importante correspondiente a la velocidad del viento y su comportamiento, se distinguen dos métodos: métodos directos y los métodos indirectos. Un método directo básicamente es cuando se emplea un aparato electrónico de medida inmediata como un anemómetro, y un método indirecto es cuando utilizamos una serie de datos o información de un parámetro en específico de un punto para extrapolar mediante la aplicación de bases teóricas como fórmulas matemáticas.

### 1.5.18. Métodos Directos

Los anemómetros son los equipos empleados para medir la velocidad del viento. El término proviene del griego *anemos*, que significa viento y *metron*, que quiere decir medida. Su origen de data de mediados del siglo XV, cuando se utilizaban para medir la velocidad del viento de una manera sencilla, y que sentaría las bases del funcionamiento de los anemómetros de los que disponemos en la actualidad (León & García, 2018, p.20).

Para su funcionalidad se instalan en torres meteorológicas a una altura considerable, esta tecnología ha progresado tanto en la fiabilidad de las medidas obtenidas ya que funcionan en base a varios parámetros como la rotación, presión ejercida, variación del sonido producido por el flujo del viento, son idóneos en la medición de información ya que funciona en cualesquiera situaciones climatológicas.

Sin embargo, hay que tener en cuenta que cualquier variación de parámetros afectará de forma directa en las medidas de viento obtenida, ya que es más sensible ante el incremento de la velocidad del viento en comparación a la reducción del mismo. Característica que lo hace apropiado para medir grandes variaciones en espacios cortos de tiempo como pueden ser ráfagas de viento o similares (León & García, 2018, p.21).



**Figura 10-1.** Distribución territorial de la provincia

Realizado por: Vargas, Pablo. 2022.

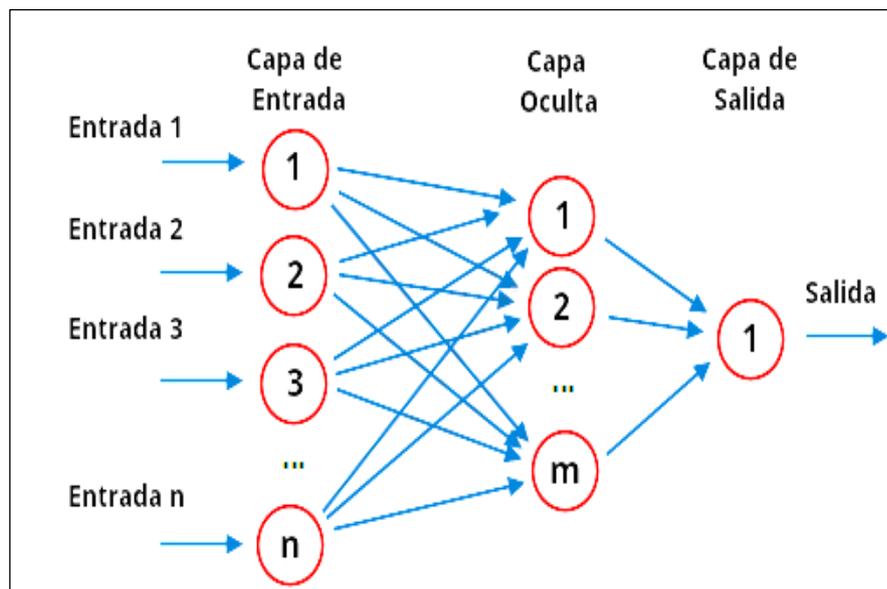
### 1.5.19. Métodos Indirectos

Para el análisis del recurso eólico es de gran utilidad aprovechar las distintas funciones de los modelos matemáticos que permitirán en cualquier investigación pronosticar, estimar o simular el comportamiento del viento en distintas condiciones meteorológicas, cuando el uso de los equipos tecnológicos no es una opción factible o accesible.

Existen varios programas orientados al pronóstico de parámetros ambientales como el viento, su funcionamiento se basa en la simulación o modelado del parámetro mediante la Dinámica de fluidos computacional (CFD), que simula el comportamiento espontáneo de un fluido como el aire en la atmósfera terrestre, creando una malla de nodos que interactúan entre sí a partir de medidas iniciales para estimar valores finales de temperatura, humedad, presión y velocidad del viento.

#### 1.5.19.1. Modelo de Redes Neuronales Artificiales

El Modelo de Redes Neuronales Artificial, es uno de los modelos matemáticos que se emplea para calcular la velocidad del viento hasta una altura de 100 m, empleando datos de 20, 30 y 40 m de altura respectivamente. Este sistema consiste en utilizar una serie de nodos conectados entre sí que reciben la información de entrada y los combinan aprovechando operaciones aritméticas sencillas para obtener la información salida ya procesada.



**Figura 11-1.** Representación gráfica del modelo de red neuronal artificial

Fuente: (Atria, 2019, p.13).

A pesar de todos los avances en técnicas para estimar la velocidad del viento son notables, existen dos métodos tradicionales que siguen siendo muy utilizados en materia de caracterización del recurso eólico, y son la ley exponencial de Hellman y la fórmula logarítmica (León & García, 2018, p.34).

#### 1.5.19.2. Ley exponencial de Hellman

La Ley exponencial de Hellman es un método matemático que se representa con la siguiente Ecuación 11:

$$\frac{v}{v_0} = \left(\frac{h}{h_0}\right)^\alpha \quad (11)$$

Donde,  $v$  es la velocidad final que se quiere estimar a una altura  $h$  sobre el nivel del suelo,  $v_0$  es la velocidad del viento observada a una altura establecida  $h_0$  y  $\alpha$  es el coeficiente de fricción o exponente de Hellman. Los valores de  $\alpha$  suelen clasificarse según el tipo de terreno, en general se emplea el valor de  $\alpha = \frac{1}{7}$  para terrenos con un limitado gradientes de presión.

**Tabla 1-1** : Valor del  $\alpha$  es el coeficiente de fricción

<i>Tipo de rugosidad del terreno</i>	<b>Valor del <math>\alpha</math></b>
<i>Agua</i>	0.13
<i>Gramas</i>	0.14 - 0.16
<i>Cultivos y arbustos</i>	0.20
<i>Bosques</i>	0.25
<i>Zonas urbanas</i>	0.40

Realizado por: Vargas, Pablo. 2022.

Se considera que, para la aplicación de los modelos exponencial y logarítmica, es necesario conocer la velocidad y dirección del viento sobre un punto durante un periodo de tiempo generalmente de un año como mínimo y hacer de su conocimiento la orografía física de la zona donde estén ubicados los equipos de alta tecnología de uso meteorológico.

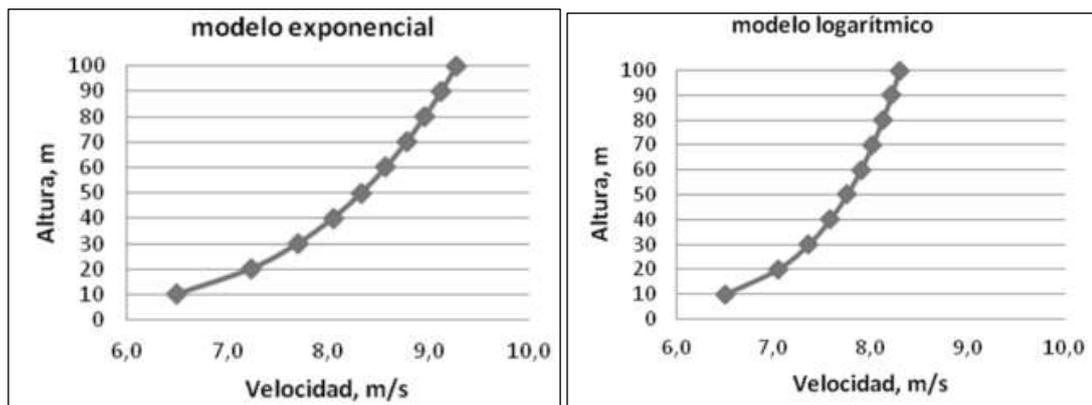
#### 1.5.19.3. Modelos exponencial y logarítmica

**Fórmula logarítmica del perfil del viento:** nos permite describir el incremento de la velocidad del viento a la altura determinada empleando la siguiente Ecuación 12, expresión logarítmica del perfil de viento:

$$\frac{v}{v_0} = \frac{\ln\left(\frac{h}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{h_0}{z_0}\right)} \quad (12)$$

Donde,  $z_0$  = coeficiente de rugosidad, expresada en unidades de metros y depende de la ubicación y orografía de la zona. Sus valores van desde 0.0002 m para la superficie del mar, hasta 1.6 m o superior para zonas con mucha vegetación o ciudades muy pobladas (León & García, 2018, p.38).

### Fórmula exponencial del perfil vertical del viento



**Gráfico 4-1:** Fórmula exponencial del perfil vertical del viento

Fuente: (Guevara, 2013, p.23).

### 1.5.20. Modelos Físico – Matemáticos

Al estudiar un fenómeno ambiental usualmente es necesario desarrollar un algoritmo matemático que contenga las instrucciones claras para crear o simular la evolución y comportamiento de dicho fenómeno, a partir del cual se realizara la construcción de un modelo computacional muy preciso. Los modelos físicos y matemáticos son una representación de carácter cualitativa y/o cuantitativa de un sistema de referencia. Se denominan como la interpretación de operaciones o formulaciones algebraicas en términos de símbolos abstractos, para la formulación de un fenómeno real e identificar sus posibles soluciones,

Sin embargo, un modelo no puede incluir de forma general todas las características de un sistema de referencia existente, es decir, solamente puede incluir los más importantes como las Leyes de la Naturaleza, los procesos físicos, símbolos y sus relaciones que constituyan al diseño del modelo matemático, de manera que sea lo suficientemente detallado para representar al fenómeno natural en estudio. Un modelo físico-matemático debe contener los siguientes elementos:

**Parámetros:** son símbolos que representan a objetos de un sistema los cuales permanecen constantes durante el estudio.

**Variabes:** Son símbolos que representan a objetos o aspectos del sistema que se modifican con el transcurso del tiempo durante el estudio.

**Relaciones funcionales:** Son funciones que simbolizan las relaciones entre los símbolos, representan a las actividades y la relación existente entre las características del sistema. Describen el cambio de las variables y cómo influyen sobre los parámetros.

### **1.5.21. ArcoGIS**

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) es un software especializado en simular y analizar datos asociados a elementos territoriales como los ríos, intervalos de temperatura, zonas boscosas, carreteras, distribución de espacios naturales, ciudades, etc.

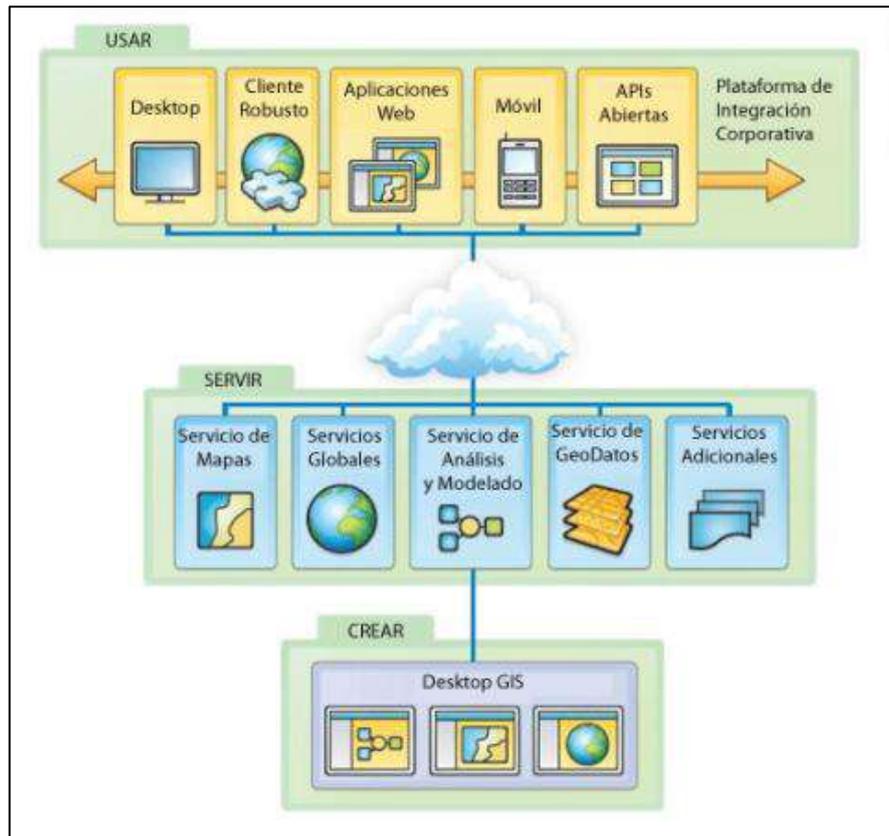
Las funciones esenciales y básicas de los SIG que se relaciona al medio ambiente, se basan en la incorporación de mapas para identificar zonas donde se falseen aspectos concretos y definir objetivos para dichas zonas. Estos análisis se realizan empleando herramientas computacionales Sin embargo, remotamente de las tradicionales herramientas que se emplean en ArcGIS, existen una infinidad de recursos cartográficos que evalúan y gestionan los recursos renovables y no renovales ambientales, ejemplo, analizar varios parámetros naturales como la vegetación, la altitud, húmedas, velocidad, etc., con el fin de crear mapas territorial (Geo innova, 2014b, p.21).

**ArcGIS** es un sistema con una funcionabilidad completa que permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica. Es el software más utilizado a nivel mundial para crear y utilizar sistemas de información geográfica (SIG).Permite publicar la información geográfica (Esri, 2018, p.34).

La tecnología ARCGIS está compuesta de una gama escalable de software que comparten los mismos componentes (*ArcObjects*). Además, es un sistema de información integrado en tres partes claves:

1. El software **ArcGIS Desktop** es un conjunto integrado de aplicaciones SIG avanzadas.
2. El **ArcSDE Gateway** es una interfaz o sistema de administración de bases de datos (DBMS).
3. El software **ArcIMS** es un SIG orientado a distribuir datos y servicios.

Es decir, ArcGIS es un sistema informático completo organizadas en un archivo desktop la información en partes y pueden ser distribuidas en una red de computadores de estaciones de trabajo y de servidores (Geo innova, 2014a, p.23).



**Figura 12-1.** Esquema grafico de la tecnología ArcGIS

Fuente: (Geo innova, 2014a, p.24).

#### 1.5.21.1. Funciones de ArcGIS

ArcGIS ofrece un conjunto único de capacidades para aplicar el análisis basado en la ubicación a tus prácticas de negocios. Proporciona herramientas contextuales para visualizar y analizar datos, colaborar con otros y compartir información a través de mapas, apps y reportes (Aeroterra, 2019, p.22).

**Análisis espacial:** Se considera como el corazón de ArcGIS, porque se utiliza para encontrar la mejor ubicación de un sitio en específico, planificar para comunidades inteligentes y prepararse y responder rápido ante situaciones cruciales (Aeroterra, 2019, p.22).

**Imágenes satelitales y teledetección:** Ofrece lo necesario para gestionar y extraer respuestas de imágenes de datos de teledetección. Incluye herramientas de imágenes y flujos de trabajo para visualización y análisis, y acceso a la colección de imágenes más grande del mundo (Aeroterra, 2019, p.23).

**Mapeo y visualización:** ayudan a encontrar patrones espaciales en los datos para tomar mejores decisiones y accionar. También rompen barreras y facilitan la colaboración. ArcGIS permite crear, utilizar y compartir mapas en cualquier dispositivo (Aeroterra, 2019, p.24).

***SIG en tiempo real***: permiten el monitoreo de ubicación de cualquier tipo de sensor o dispositivo, acelerando los tiempos de respuesta, optimizando la seguridad y mejorando la conciencia operacional a través de todos los activos y actividades, en movimiento o estáticos (Aeroterra, 2019, p.24).

***3D GIS***: traen contexto del mundo real a tus mapas y datos. Instantáneamente transforman tus datos en modelos 3D y visualizaciones inteligentes que ayudan a analizar y resolver problemas, compartir ideas y conceptos con tu equipo (Aeroterra, 2019, p.25).

***Recolección y gestión de datos***: puede fácilmente recolectar, cruzar, almacenar, acceder y compartir datos, de forma eficiente y segura. Integrar datos almacenados en sistemas de negocios y geo-habilitar cualquier dato de cualquier fuente (Aeroterra, 2019, p.26).

#### *1.5.21.2. ArcMap*

Es la aplicación central del software ArcGIS, sirve para explorar, editar, crear y analizar datos geográficos y permite ejecutar las tareas habituales y de análisis avanzado, así como mostrar los resultados por medio de atractivos mapas impresos o digitales. Consta de dos parámetros para el trabajo con datos: *La vista de datos*: empleada para trabajar y analizar información y la *vista de composición de mapa*: utilizada para la preparación de información digitalizados mediante impresiones o presentaciones.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO METODOLÓGICO

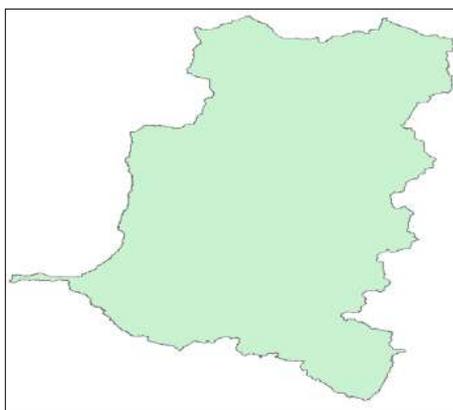
#### 2.1. Tipo y diseño de la investigación

Este trabajo de investigación es de tipo transversal debido a que se recolecta una serie de datos de acuerdo a un determinado tiempo, además, se basa en un método de investigación cualitativa experimental cuyos resultados se representarán en mapas geoestadísticos y será de carácter descriptivo porque según el nivel de profundización en el objeto de estudio se analizará e imputará datos de las series registradas.

Para determinar los puntos focales de estudio se realizó un monitoreo estratégico de las estaciones meteorológicas activas del GEAA-ESPOCH, utilizando una cartilla geográfica para una mejor distribución de los puntos en toda la superficie territorial de la provincia de Chimborazo, además se empleó varias herramientas computacionales para su recolección de información verídica.

#### 2.2. Componente de análisis

En la investigación nos referimos como unidad de análisis a la presión del viento en todo el territorio provincial de Chimborazo, el cual está atravesado por la cordillera de los Andes, y consta de 21 unidades geológicas. Esta provincia está ubicada en el centro del Ecuador, región interandina (Sierra), posee un rango de 135 a 6310 metros sobre el nivel del mar. Además, limita las provincias de la región Costa y Amazonia, al norte con la Provincia de Tungurahua, provincia de Cañar al sur, al este con Morona Santiago y al oeste con Bolívar y Guayas. Y se encuentra dividida en 10 cantones.

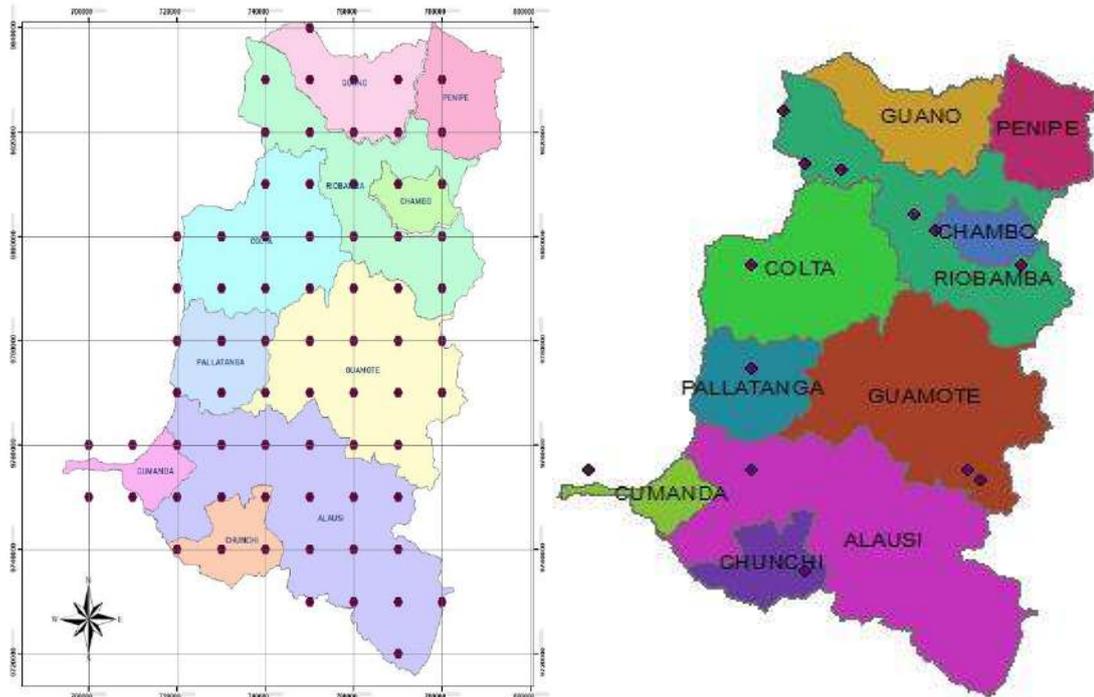


**Figura 1-2.** Zona de estudio provincia de Chimborazo

Realizado por: Vargas, Pablo.2022.

### 2.3. Población de estudio

En esta investigación se utilizará los datos registrados durante el año 2021 en las estaciones del grupo GEAA que se encuentra en la provincia, donde los resultados serán representados en mapas geoestadísticos. En la siguiente Figura 2-2, se observa la localización de las estaciones de la provincia de Chimborazo.



**Figura 2-2.** Ubicación de los puntos de estudio.

Realizado por: Vargas Pablo, 2022.

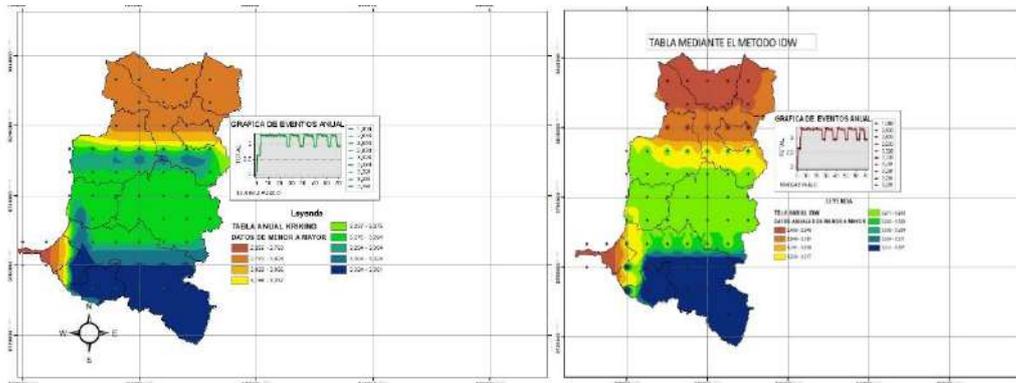
### 2.4. Tamaño de la muestra

Se planteo 72 puntos con diferentes coordenadas geográficas distribuidos en toda la zona territorial provincial de Chimborazo, quedando la distribución de puntos focales.

#### 2.4.1. *Tamaño de la muestra mediante la utilización de Kringing y IDW*

El tamaño de la muestra fue de primero de 72 puntos alrededor de toda la provincia de Chimborazo graficados como se representa en la Figura 2-2 a medida que se fue desarrollando hubo puntos con un alto grado de repetición una vez graficado optamos por tomar los puntos centrales por el tamaño amplio del pixel que grafican estos datos vectoriales.

En este caso se plantean 18 puntos debido a su alto grado de repetición en los puntos ya mencionados con diferentes coordenadas geográficas en toda la provincia de Chimborazo incluido las estaciones meteorológicas como se muestra en la Tabla (1-3).



**Figura 3-2.** Figura 3-2. Ubicación de los puntos de estudio mediante el método kriging y IDW

Realizado por: Vargas, Pablo. 2022.

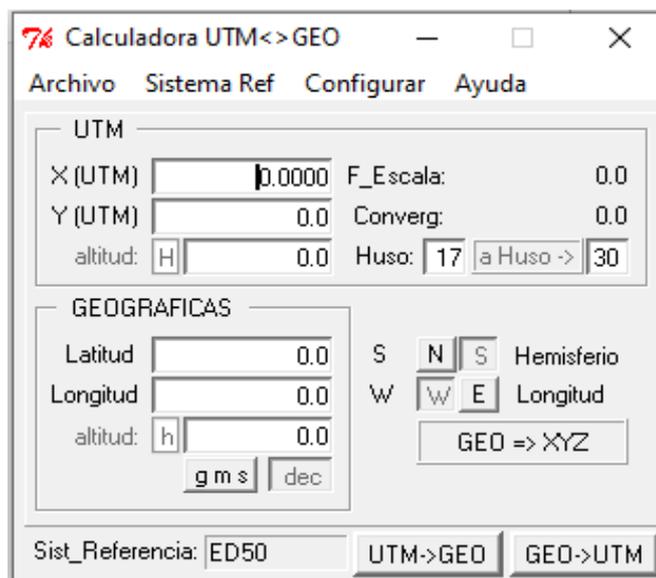
## 2.5. Descripción de las características de los elementos utilizado

Análisis de las bases de funcionamiento de cada software utilizado para el procesamiento de información vinculada directamente a la velocidad del viento dentro de la zona de estudio.

### 2.5.1. Calculadora Geodésica UTM-GEO

Es un programa muy sencillo de utilizar para convertir coordenadas Geográficas a la proyección Universal Transversa de Mercator (UTM) y de forma viceversa. Para la representación cartográfica de escalas mayores de 1:500.000.

Este programa de conversión entre UTM y Geográficas, está preparado para trabajar con coordenadas de todo el globo terrestre, hasta los límites que marca la proyección en Latitud: 84. 5° Norte y 80. 5° Sur. La transformación utiliza un sistema de referencia geodésico para el cálculo, dicho sistema puede variar según el país.

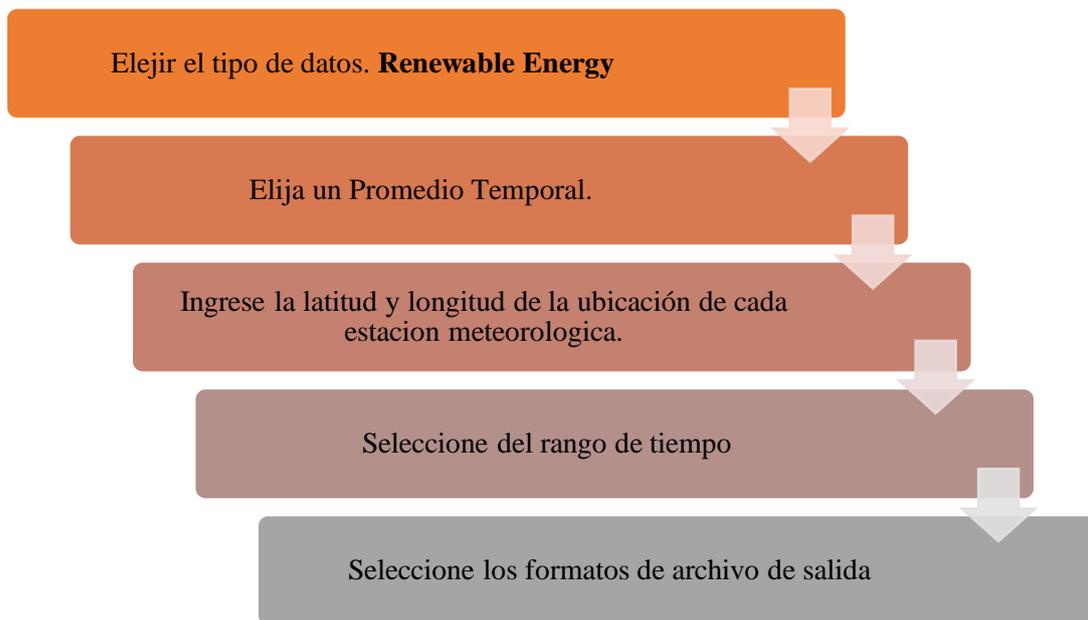


**Figura 4-2.** Ventana principal de la calculadora UTM<->GEO  
**Realizado por:** Vargas, Pablo. 2022.

La interfaz principal del programa contiene la función de entrada y salidas de resultados correspondiente a las coordenadas, donde se puede digitalizar un punto en términos de UTM con sus coordenadas (x, y), y el valor del Huso para transformar estas coordenadas en términos de Latitud y Longitud geográficas o viceversa. También podemos entrar las coordenadas geográficas en modo cartesiano, mediante sus tres coordenadas X, Y, Z. Las geográficas son grados sexagesimales y se pueden representar en modo grados y décimas de grado (modo dec) o en grados, minutos y segundos (modo gms), tanto para entrar datos como para ver resultados.

### 2.5.2. *Power Data*

Power Data es la herramienta computacional que nos permite organizar los datos y convertirlos en información útil para la investigación, ya que contienen la tecnología para el procesamiento de datos.



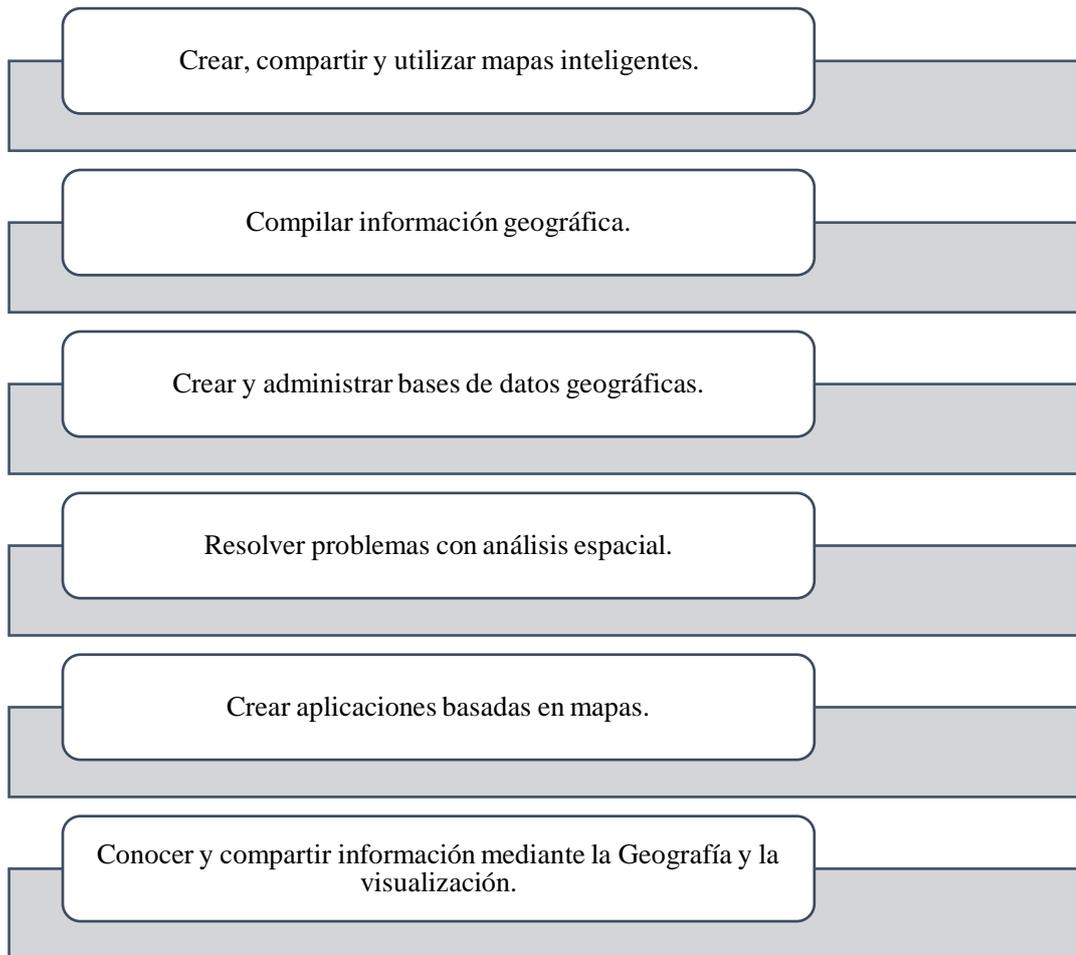
**Figura 5-2.** Power Data

Realizado por: Vargas, Pablo. 2022.

### 2.5.3. ArcGIS

ArcGIS es un sistema completo de fácil manejo que permite recopilar, administrar, compartir, analizar, distribuir y organizar toda información geográfica de un sitio en específico, se considera como el principal componente de la aplicación Gis de Environmental Systems Research Institute (**ESRI**).

### 2.5.3.1. Funciones de ArcGIS



**Figura 6-2.** Funciones de ArcGIS

Realizado por: Vargas, Pablo. 2022.

### 2.5.4. Especificaciones técnicas del equipo

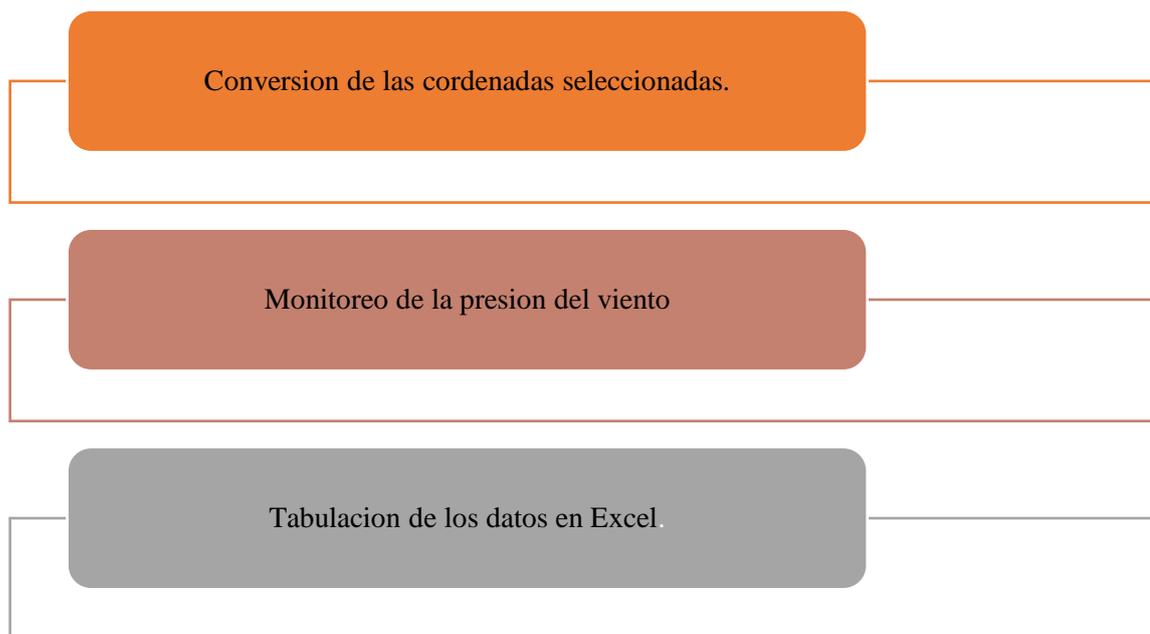
**Tabla 1-2** Descripción de los programas computacionales

<b>PROGRAMA</b>	<b>LICENCIA</b>	<b>USO</b>
<i>Power Nasa</i>	Software libre	Monitoreo y Procesamiento de información
<i>Calculadora UTM&lt;&gt;GEO</i>	Software libre	Conversión de coordenadas UTM a geográficas o GEO
<i>Excel</i>	Software libre	Tabulación de datos
<i>ArcGIS</i>	Software bajo licencias	Creación de mapas

Realizado por: Vargas, Pablo. 2022.

## 2.6. Recolección de datos

Para concluir con los objetivos propuestos se efectúa los siguientes pasos: se selecciona las coordenadas cartesianas mediante el mapa de la provincia de Chimborazo para realizar su conversión y obtener las coordenadas geográficas del sitio en específico, mediante la página oficial de Prediction Of Worldwide Energy Resources (*POWER*)-NASA al digitalizar el valor obtenido de la latitud y longitud de la conversión se obtuvo el procesamiento de datos correspondientes a la presión del viento de cada uno de los puntos focales. La información descargada en formato CSV y tabulada en Excel se refiere a la presión superficial, velocidad del viento a 10 y 50 metros, velocidad del viento máximo y mínimo a dos alturas.

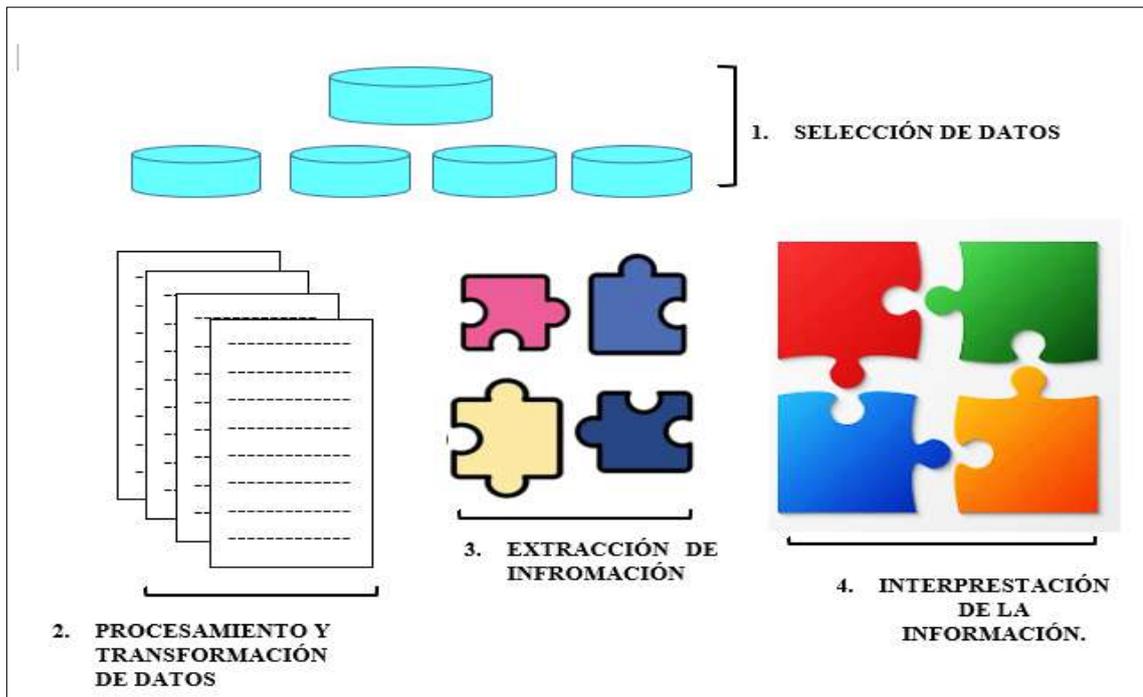


**Figura 7-2.** Recolección de datos

**Realizado por:** Vargas, Pablo. 2022.

### 2.6.1. *Procesamiento y análisis de datos*

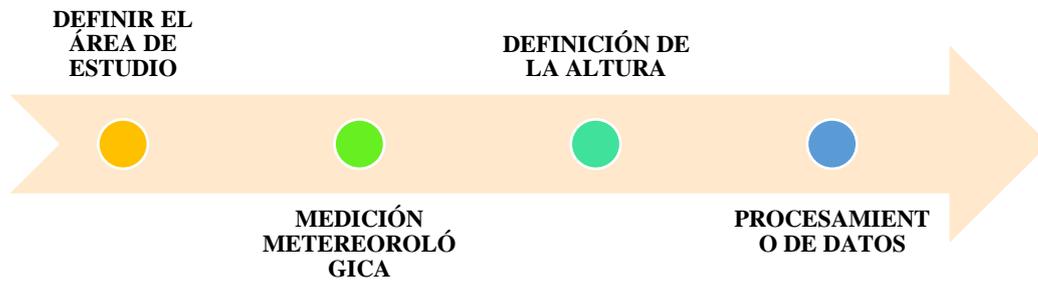
Una vez obtenida la información meteorológica a través de *POWER NASA*, con la ayuda de las funciones del sistema informático ArcGIS se crea, analiza, organiza y diseña imágenes correspondientes al mapa geológicos donde nos permite visualizar el comportamiento de la velocidad del viento dentro de la provincia de Chimborazo.



**Figura 8-2.** Representación gráfica del procesamiento de datos

Realizado por: Vargas, Pablo. 2022.

### 2.6.2. Etapas para el procesamiento de datos



**Figura 9-2.** Etapas para el procesamiento de datos

Realizado por: Vargas, Pablo. 2022.

2.7. Algoritmo para determinar datos erróneos en la predicción de la velocidad del viento

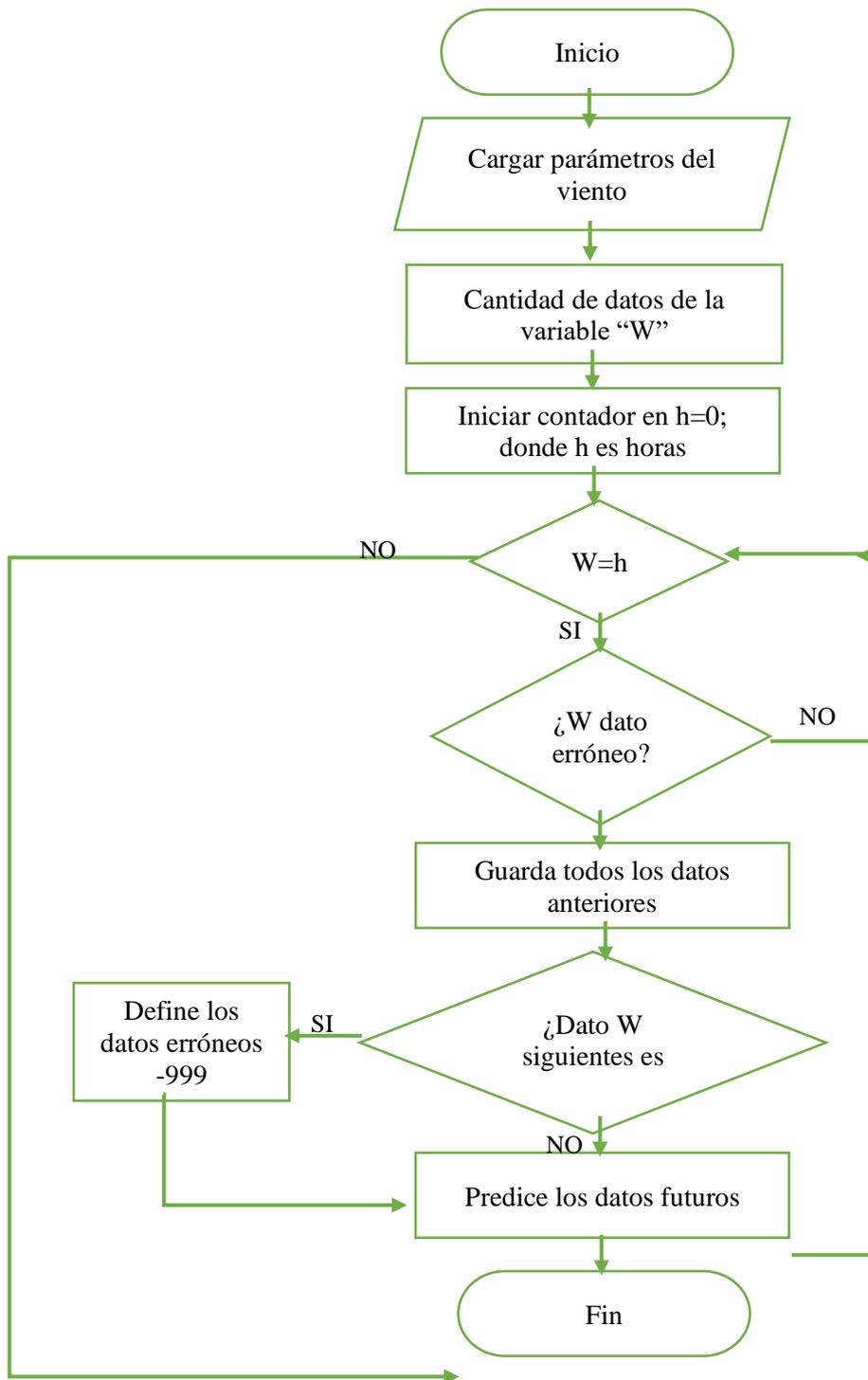


Figura 10-2. Algoritmo de datos erróneos

Realizado por: Vargas, Pablo. 2022.

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

En este capítulo se emplearán los registros meteorológicos de la velocidad del viento en la provincia de Chimborazo del Ecuador, los mismos que nos servirán para el desarrollo efectivo de este tema de investigación, se tabularán utilizando herramientas y procedimientos computacionales que nos permitan tener una mejor idea del comportamiento de la velocidad del viento dentro de una zona.

Además, se da a conocer la metodología desarrollada para obtener la información necesaria para cumplir con los objetivos planteados, desde del estudio completo de cada herramienta computacional se ponen en práctica sus funciones para analizar y muestran los resultados obtenidos mediante un interfaz y crear las correspondientes gráficas de la serie de datos generados por el programa *Power Nasa*.

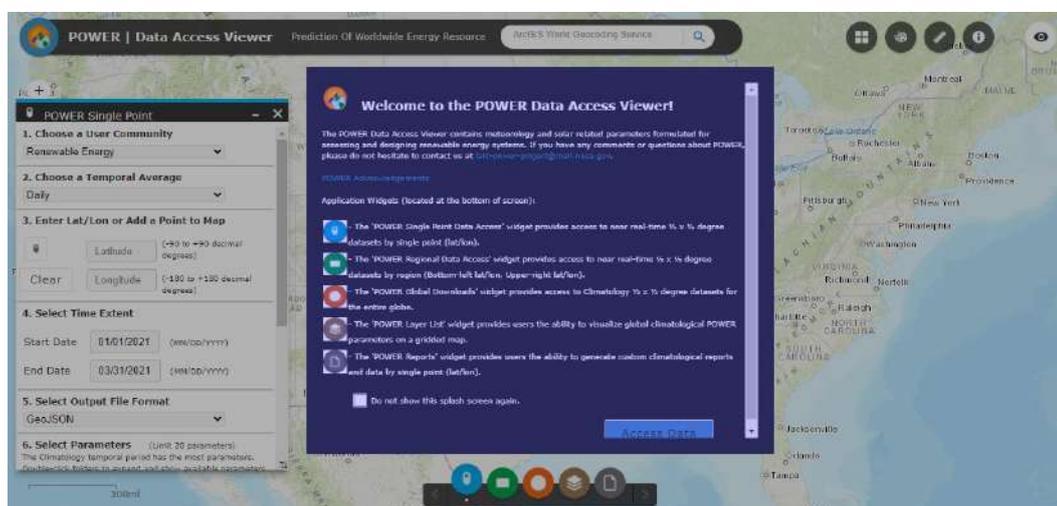


Figura 1-3. Interfaz de Power Nasa

Realizado por: Vargas, Pablo. 2022.

#### 3.1. Definición de los puntos focales para el análisis de datos

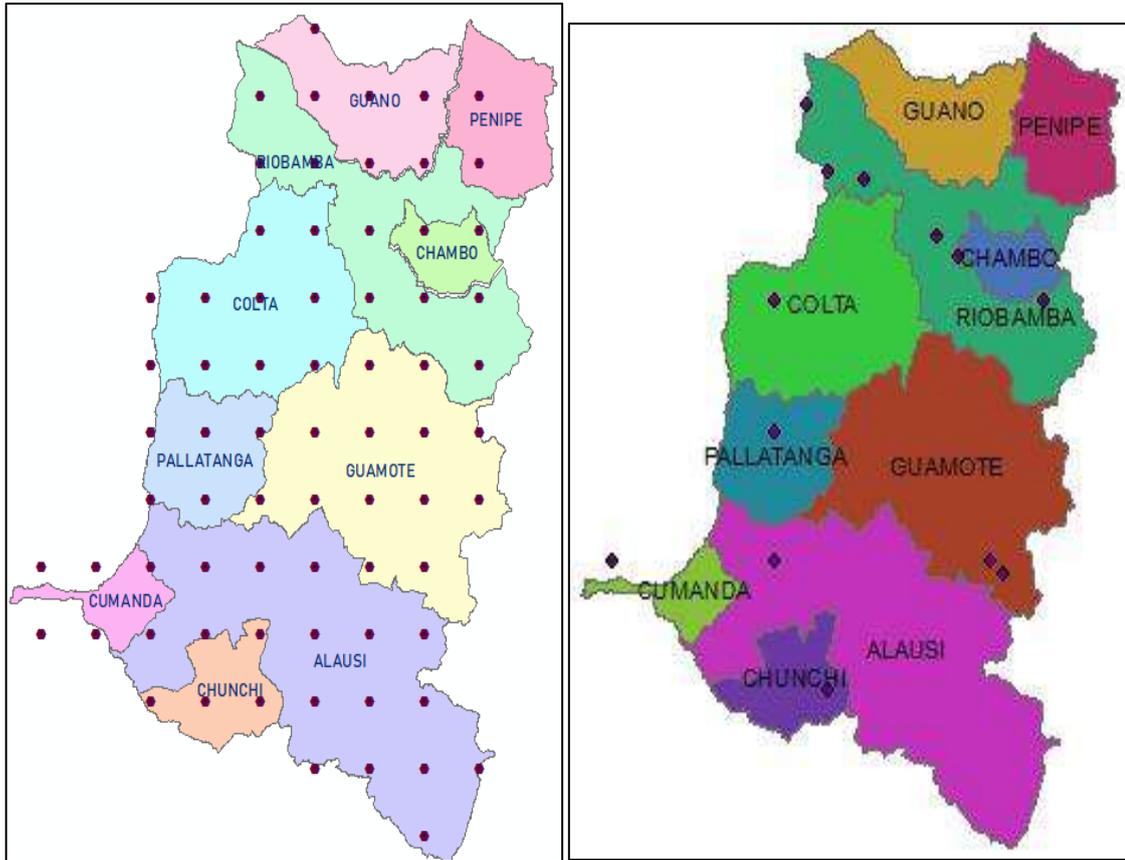
Para el procesamiento, selección e interpretación de los datos meteorológica de la velocidad del viento, primero es necesario conocer los datos generados y definir un total de puntos de medición, ubicados en toda la zona de la provincia de Chimborazo, cada uno con sus coordenadas UTM. En la Tabla 1-3, se detalla los puntos de medición en sus coordenadas (UTM), así como también las coordenadas del sistema geográficas (GEO).

Utilizando las herramientas matemáticas y computacional que nos ofrece la *Calculadora UTM<>GEO*, obtenemos las coordenadas geográficas de cada una de las ediciones meteorológicas.

**Tabla 1-3:** Ubicación de los puntos de medición

ID	X	Y	CANTON	LATITUD	LONGITUD
P2	700000	9760000	CUMANDÁ	-2,17024565	-79,20173626
P14	730000	9760000	PALLATANGA	-2,16989898	-78,93210708
P16	730000	9780000	ALAUSI	-1,98907569	-78,93234254
P18	730000	9800000	CHUNCHI	-1,80825198	-78,93255750
P20	740000	9740000	RIOBAMBA	-2,35058498	-78,84197356
P28	740000	9820000	CHUNCHI	-1,62733319	-78,84291349
P50	760000	9810000	ALAUSI	-1,71752737	-78,66314586
P57	770000	9760000	GUAMOTE	-2,16936168	-78,57267438
P69	780000	9800000	RIOBAMBA	-1,80768121	-78,48337875
P13	730000	9750000	COLTA	-2,26031045	-78,93198165
P35	750000	9780000	COLTA	-1,98883927	-78,75263547
P49	760000	9800000	GUAMOTE	-1,80792291	-78,66303309
P52	760000	9830000	ALAUSI	-1,53673602	-78,66335402
P54	770000	9730000	GUANO	-2,44052849	-78,57221477
ESTAC 1	772610	9758045	GUAMOTE	-8,81942817	-78,52184502
ESTAC 2	736121	9830388	CHUNCHI	-8,88685584	-78,85299593
ESTAC3	746602	9818847	CHUNCHI	-8,87586509	-78,75780661
ESTAC 4	764087	9806680	ALAUSI	-8.86388758	-78,59899089

Realizado por: Vargas, Pablo. 2022.



**Figura 2-3.** Mapa geográfico con la distribución de los puntos de medición

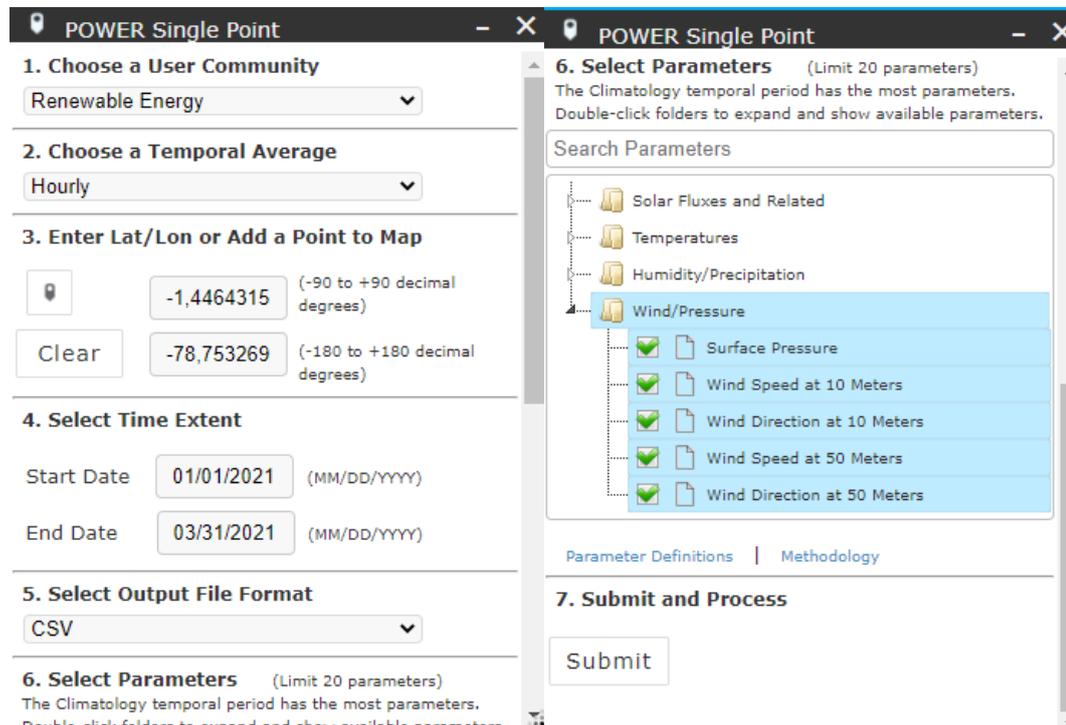
Realizado por: Vargas, Pablo. 2022.

En la Tabla 1-3 se detalla la localidad de los 18 puntos de medición distribuidos en toda la zona de la provincia de Chimborazo, consta de la siguiente información; coordenadas UTM (x, y), coordenadas GEO (latitud, longitud) y sus cantones donde se localiza los puntos focales. Una vez definidas las coordenadas UTM con la ayuda del programa computacional Calculadora **UTM<>GEO** se logró realizar la conversión y obtener las coordenadas de tipo GEO. Las coordenadas de tipo Geográficas de la zona de estudio en grados decimales, son necesarias para descargar los datos meteorológicos correspondientes a la velocidad del viento a una altura de 10 m de la base de datos online, se muestra (Figura 2-3) la distribución de los puntos de medición en el mapa geográfico.

### 3.2. Recolección de Información correspondiente a la variación del viento

El visor de acceso a datos meteorológicos dispone de un software DATA VIEW que mediante una interfaz permite descargar o visualizar de forma instantánea los datos recopilados sobre la presión del viento entre otros parámetros. Para adquirir la información de datos generada por la interfaz de DATA VIEW, fue necesario seleccionar el formato de archivo de salida, en nuestro caso se seleccionó el formato CVS (valores separados por comas). Es importante visualizar los

datos en formato CVS en la herramienta de Excel, y analizar los datos del viento monitoreados por hora, día y mes en el periodo completo del año 2021, posterior a esto se realiza el cálculo del promedio mensual de la velocidad del viento a 10 metros de altura.



**Figura 3-3.** Interfaz gráfica de DATA VIEW

Realizado por: Vargas, Pablo. 2022.

En la Figura 3-3, corresponde a la interfaz gráfica que se incorpora al Data View del software Power Nasa, con la finalidad de proporcionar un entorno visual de todos los parámetros necesarios para generar los datos meteorológicos, además proporciona una interacción fácil y sencilla entre el usuario y el computador.

### 3.3. Mediciones del viento generado por el software libre

Las mediciones del viento se realizaron en 18 puntos distribuidos a lo largo de la zona de la provincia de Chimborazo, la información que se obtuvo en archivo CVS fue llevado al formato de Excel para continuar con la etapa de procesamiento de datos de forma cuantitativa, en el monitoreo de medidas se establecieron 8773 datos y 5 variables de información, donde las variables son: mes, día, hora, velocidad del viento a 10 metros, presión y la dirección del viento.

### 3.4. Descarga y recolección de los registros meteorológicos

En la Figura 4-3, se observa la forma en que se descargan y visualizan los datos correspondientes a la velocidad del viento con cada número, para el desarrollo de este trabajo de titulación se definió obtener los datos por hora, por lo tanto, el número 1 representa a los datos por hora de la resolución de información, 2: define el periodo anual de medición, es decir, desde la fecha que inicia la medición hasta la fecha que finaliza el estudio, se definió el año 2021, 3: define la localización del punto de medición de acuerdo a su latitud y longitud, 4: indica los parámetros de medid, se definió la velocidad del viento y su respectiva dirección.

```

-BEGIN HEADER-
NASA/POWER CERES/MERRA2 Native Resolution Hourly Data 1
Dates (month/day/year): 01/01/2021 through 12/31/2021 2
Location: Latitude -2,1695 Longitude -78,6625 3
Elevation from MERRA-2: Average for 0,5 x 0,625 degree lat/lon region = 2983,94 meters
Value for missing model data cannot be computed or out of model availability range: -999
Parameter(s): 4
WS10M MERRA-2 Wind Speed at 10 Meters (m/s)
WD10M MERRA-2 Wind Direction at 10 Meters (Degrees)
WS50M MERRA-2 Wind Speed at 50 Meters (m/s)
WD50M MERRA-2 Wind Direction at 50 Meters (Degrees)
-END HEADER-

```

YEAR	MO	DY	HR	WS10M	WD10M	WS50M	WD50M
2021	1	1	0	0,25	358,21	0,58	42,27
2021	1	1	1	0,49	41,1	1,05	52,28
2021	1	1	2	0,96	63,02	1,45	63,02
2021	1	1	3	1,3	71,02	1,73	70,17
2021	1	1	4	1,52	76,32	2,03	75,75
2021	1	1	5	2	77,59	2,67	76,98
2021	1	1	6	2,77	75,3	3,41	74,6
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
2021	12	31	19	0,87	337,34	1,09	341,69
2021	12	31	20	1,03	327,76	1,31	334,51
2021	12	31	21	0,98	320,19	1,33	333,43
2021	12	31	22	0,84	327,94	1,3	341,13
2021	12	31	23	0,75	346,83	1,14	359,22

**Figura 4-3.** Formato de descarga de los datos del viento con sus parámetros de estudio

Realizado por: Vargas, Pablo. 2022.

Para que la información adjunta en cada uno de los archivos de medición sea real se debe optar por una revisión exhaustiva de todos los datos registrados, con la finalidad de identificar datos que presenten errores o que no aporten ninguna información acerca de la velocidad del viento. Para determinar si existe datos erróneos dentro de una serie de datos fue necesario identificar el indicador -999 que significa que el valor de los datos del no se puede calcular o está fuera del rango de la disponibilidad del modelo.

-BEGIN HEADER-  
NASA/POWER CERES/MERRA2 Native Resolution Hourly Data  
Dates (month/day/year): 01/01/2021 through 12/31/2021  
**Location: Latitude -2,1695 Longitude -78,6625**  
Elevation from MERRA-2: Average for 0,5 x 0,625 degree lat/lon region = 2983,94 meters  
Value for missing model data cannot be computed or out of model availability range: -999  
Parameter(s):  
WS10M MERRA-2 Wind Speed at 10 Meters (m/s)  
WD10M MERRA-2 Wind Direction at 10 Meters (Degrees)  
WS50M MERRA-2 Wind Speed at 50 Meters (m/s)  
WD50M MERRA-2 Wind Direction at 50 Meters (Degrees)  
-END HEADER-

P45	WS10M	WD10M	WS50M	WD50M
ENERO	1950,39	75502,81	2450,85	76720,07
FEBRERO	1603,67	104655,3	1987,49	104216,32
MARZO	1546,79	121017,33	1846,42	121120,03
ABRIL	1947,77	63467,5	2460,4	63125,44
MAYO	2836,09	80778,81	3475,04	80796,25
JUNIO	2791,89	66153,14	3477,13	65777,8
JULIO	4013,68	67903,64	4910,50	67843,90
AGOSTO	1330,63	62633,81	2132,54	62602,25
SEPTIEMBRE	3176,39	67403,29	3946,90	67357,74
OCTUBRE	2092,02	70896,87	2677,95	69794,33
NOVIEMBRE	1553,47	93374,81	2004,13	90508,06
DICIEMBRE	1906	93488,67	2418,36	91674,27

**Figura 5-3.** Conteo mensual de cada punto de medición.

Realizado por: Vargas, Pablo. 2022.

Una vez identificados estos caracteres erróneos posibles en cada parámetro de estudio, se procedió al conteo mensual de la información verídica y real (Figura 5-3), donde el conteo de datos arrojó los siguientes resultados Tabla 2-3:

### 3.4.1. *Análisis y conteo de datos del viento*

En la Tabla 2-3, se detallan los datos de la velocidad del viento a una altura de 10 m comprimida en un periodo de 52 semanas que corresponde a 12 meses del año 2021 por cada punto de medición establecido.

**Tabla 2-3:** Datos registrados por mes de la velocidad del viento a 10 m.

ID	X	Y	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTAL
P2	700000	9760000	3,00	3,02	2,69	2,63	2,58	2,53	2,11	2,28	2,43	2,71	2,75	2,89	2,63
P14	730000	9760000	2,62	2,39	2,08	2,71	3,81	3,88	5,39	4,62	4,41	2,81	2,16	2,56	3,29
P16	730000	9780000	2,62	2,39	2,08	2,71	3,81	3,88	5,39	4,62	4,41	2,81	2,16	2,56	3,29
P18	730000	9800000	2,62	2,39	2,08	2,71	3,81	3,88	5,39	4,62	4,41	2,81	2,16	2,56	3,29
P20	740000	9740000	2,84	2,46	2,03	3,00	3,92	3,92	5,31	4,51	4,38	2,95	2,08	2,47	3,33
P28	740000	9820000	2,28	2,03	1,80	2,35	3,40	3,52	4,87	4,19	4,02	2,46	2,00	2,27	2,93
P50	760000	9810000	2,28	2,03	1,80	2,35	3,40	3,52	4,87	4,19	4,02	2,46	2,00	2,27	2,93
P57	770000	9760000	2,62	2,39	2,08	2,71	3,81	3,88	5,39	4,62	4,41	2,81	2,16	2,56	3,29
P69	780000	9800000	2,62	2,39	2,08	2,71	3,81	3,88	5,39	4,62	4,41	2,81	2,16	2,56	3,29
P13	730000	9750000	2,84	2,46	2,03	3,00	3,92	3,92	5,31	5,41	4,38	2,95	2,08	2,47	3,33
P35	750000	9780000	2,62	2,39	2,08	2,71	3,81	3,88	5,39	4,62	4,41	2,81	2,16	2,56	3,29
P49	760000	9800000	2,62	2,39	2,08	2,71	3,81	3,88	5,39	4,62	4,41	2,81	2,16	2,56	3,29
P52	760000	9830000	2,28	2,03	1,80	2,35	3,40	3,52	4,87	4,19	4,02	2,46	2,00	2,27	2,93
P54	770000	9730000	2,84	2,46	2,03	3,00	3,92	3,92	5,31	5,41	4,38	2,95	2,08	2,47	3,33
EST1	772610	9758045	3,33	2,96	2,81	3,16	3,77	3,06	3,44	3,46	3,89	3,89	2,55	2,53	3,24
EST2	736121	9830388	10,51	9,89	9,15	12,42	10,79	10,53	12,51	12,39	12,39	11,92	5,37	6,81	9,93
EST3	746602	9818847	4,19	3,69	3,34	4,15	4,15	4,59	5,56	5,52	5,52	5,59	4,07	2,94	4,24
EST4	764087	9806680	1,04	0,81	0,66	1,07	0,99	2,80	3,96	3,96	4,08	4,07	3,02	2,09	2,12

Realizado por: Vargas, Pablo. 2022.

### 3.4.2. Identificación de datos erróneos presentes en la serie de información

**Tabla 3-3:** Datos erróneos por semana de la velocidad del viento

YEAR	MO	DY	HR	WS10M	WD10M	WS50M	WD50M
2021	8	8	19	-999	-999	-999	-999
2021	8	8	20	-999	-999	-999	-999
2021	8	8	21	-999	-999	-999	-999
2021	8	8	22	-999	-999	-999	-999
2021	8	8	23	-999	-999	-999	-999
2021	8	9	0	-999	-999	-999	-999
2021	8	9	1	-999	-999	-999	-999
2021	8	9	2	-999	-999	-999	-999
2021	8	9	3	-999	-999	-999	-999
2021	8	9	4	-999	-999	-999	-999
2021	8	9	5	-999	-999	-999	-999
2021	8	9	6	-999	-999	-999	-999
2021	8	9	7	-999	-999	-999	-999
2021	8	9	8	-999	-999	-999	-999
2021	8	9	9	-999	-999	-999	-999
2021	8	9	10	-999	-999	-999	-999
2021	8	9	11	-999	-999	-999	-999
2021	8	9	12	-999	-999	-999	-999
2021	8	9	13	-999	-999	-999	-999
2021	8	9	14	-999	-999	-999	-999
2021	8	9	15	-999	-999	-999	-999
2021	8	9	16	-999	-999	-999	-999
2021	8	9	17	-999	-999	-999	-999
2021	8	9	18	-999	-999	-999	-999

Realizado por: Vargas, Pablo. 2022.

En la Tabla 3-3 nos permite mostrar que desde la fecha 08-08-2021 hora 19:00 pm hasta el 09-08-2021 hora 18:00 pm se calculó una cantidad de 24 datos considerados como erróneos, registrados en el mismo, además después de una revisión de datos de todos los puntos de medición se identificó que en la misma hora, día y mes la cantidad de errores se repiten por cada punto, sin embargo esta cantidad representa el 0.27 % de toda la información, por lo tanto, se consideró como un valor despreciable ya que se aprovechó el 99,72 % de toda la información registrada.

### 3.5. Análisis e interpretación de resultados

De acuerdo a la metodología descrita e identificación de los puntos focales de medición que se detalla en el capítulo 2, a continuación, se muestran los análisis de los resultados obtenidos a partir de la medición meteorológica de viento.

En la Tabla 4-3, se detallan los resultados generales de la suma por mes de cada punto focal, se los clasifico mediante colores para demostrar su coincidencia (Figura 6-3), después de la clasificación de resultados se observó (color rosa) que hay 12 series de datos del viento que más se repiten con frecuencia y hay una serie de datos distinta y única en toda la base de datos.

	P2					
	P14	P16	P18	P57	P69	P52
	ESTACION 1	ESTACION 2	ESTACION 3	P13	P49	P54
	P20					
	P28	P50	ESTACION 4	P35		

**Figura 6-3.** Identificación de colores

Realizado por: Vargas, Pablo. 2022.

Debido a que la base de datos meteorológicas varía según la localidad del área de estudio, los resultados generados dentro de la etapa de análisis de datos tienen una gran frecuencia de repetitividad, de acuerdo a que varios puntos focales se sitúan dentro de la misma longitud y latitud (Tabla 2-3: visualizar x, y).

**Tabla 4-3:** Frecuencia de resultados dentro del área de estudio

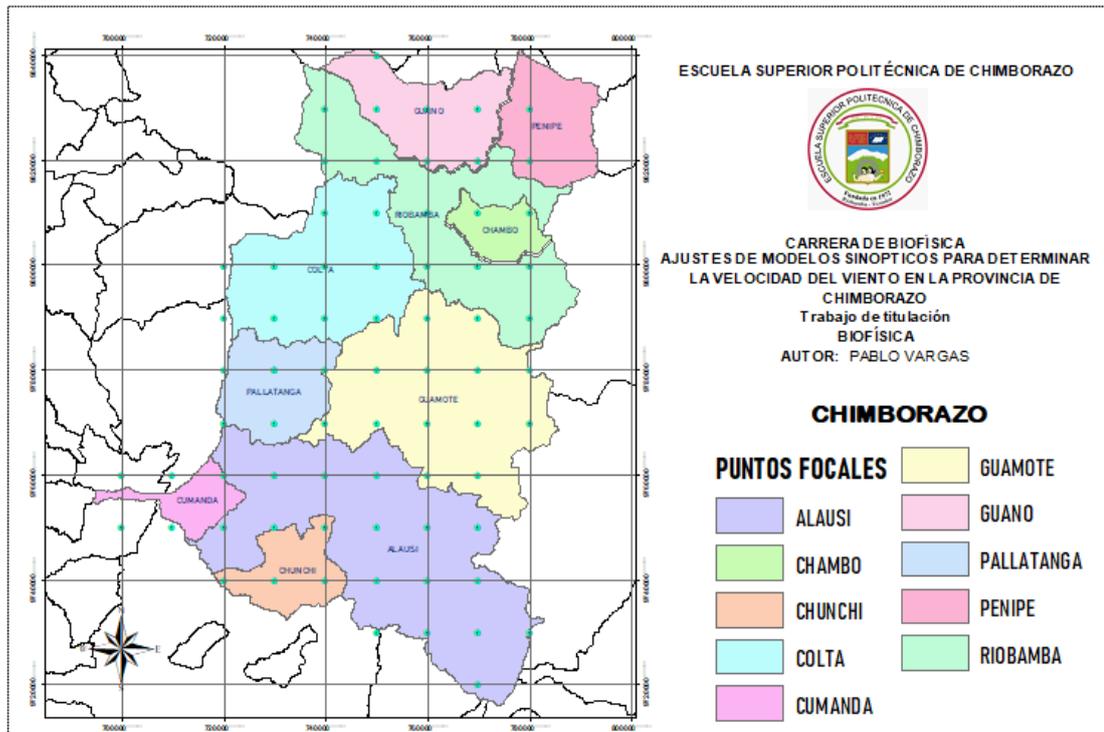
ID	P2	P1 3	P1 4	P1 6	P1 8	P4 9	P5 2	P5 4	P2 0	P2 8	P3 5	P5 0	P5 7	P6 9	EST 1	EST 2	EST 3	EST 4
ENERO	3,0 0	2,8 4	2,6 2	2,6 2	2,6 2	2,6 2	2,2 8	2,8 4	2,8 4	2,2 8	2,6 2	2,2 8	2,6 2	2,6 2	3,34 1	10,5 1	4,19	1,04
FEBRERO	3,0 2	2,4 6	2,3 9	2,3 9	2,3 9	2,3 9	2,0 3	2,4 6	2,4 6	2,0 3	2,3 9	2,0 3	2,3 9	2,3 9	2,96 9	9,89	3,69	0,81
MARZO	2,6 9	2,0 3	2,0 8	2,0 8	2,0 8	2,0 8	1,8 0	2,0 3	2,0 3	1,8 0	2,0 8	1,8 0	2,0 8	2,0 8	2,81 3,16	6,79 9,15	3,07	0,66
ABRIL	2,6 3	3,0 0	2,7 1	2,7 1	2,7 1	2,7 1	2,3 5	3,0 0	3,0 0	2,3 5	2,7 1	2,3 5	2,7 1	2,7 1	3,16 1	9,15	3,34	0,73
MAYO	2,5 8	3,9 2	3,8 1	3,8 1	3,8 1	3,8 1	3,4 0	3,9 2	3,9 2	3,4 0	3,8 1	3,4 0	3,8 1	3,8 1	3,77 3	12,4 4,15	4,15	1,07
JUNIO	2,5 3	3,9 2	3,8 8	3,8 8	3,8 8	3,8 8	3,5 2	3,9 2	3,9 2	3,5 2	3,8 8	3,5 2	3,8 8	3,8 8	3,06 3,44	10,7 10,5	9 4,15	0,99
JULIO	2,1 1	5,3 1	5,3 9	5,3 9	5,3 9	5,3 9	4,8 7	5,3 1	5,3 1	4,8 7	5,3 9	4,8 7	5,3 9	5,3 9	3,44 3	10,5 4,59	10,5 2,80	2,80
AGOSTO	2,2 8	4,5 1	4,6 2	4,6 2	4,6 2	4,6 2	4,1 9	4,5 1	4,5 1	4,1 9	4,6 2	4,1 9	4,6 2	4,6 2	3,46 1	12,5 12,5	1 5,56	3,96
SEPTIEMBRE	2,4 3	4,3 8	4,4 1	4,4 1	4,4 1	4,4 1	4,0 2	4,3 8	4,3 8	4,0 2	4,4 1	4,0 2	4,4 1	4,4 1	3,89 1	12,3 9	5,52	4,09
OCTUBRE	2,7 1	2,9 5	2,8 1	2,8 1	2,8 1	2,8 1	2,4 6	2,9 5	2,9 5	2,4 6	2,8 1	2,4 6	2,8 1	2,8 1	3,89 1	11,9 2	5,59	4,07
NOVIEMBRE	2,7 5	2,0 8	2,1 6	2,1 6	2,1 6	2,1 6	2,0 0	2,0 8	2,0 8	2,0 0	2,1 6	2,0 0	2,1 6	2,1 6	2,55 6	5,37 6	4,07	3,02
DICIEMBRE	2,8 9	2,4 7	2,5 6	2,5 6	2,5 6	2,5 6	2,2 7	2,4 7	2,4 7	2,2 7	2,5 6	2,2 7	2,5 6	2,5 6	2,53 6	6,81	2,94	209

Realizado por: Vargas, Pablo. 2022.

Al diseñar una gráfica por color de frecuencia de datos considerando todos los puntos de medición, observamos que la velocidad del viento es un fenómeno natural que varía con el tiempo, en las gráficas los picos más altos representan la velocidad máxima alcanzada por el viento y los picos más bajos la velocidad mínima del viento.

Para etiquetar con el color plomo los puntos de medición, se observó que los puntos ubicados en un rango de latitud entre 70000 y longitud 9750000, color rosado los puntos se ubican entre una latitud 700000-710000 y longitud 9750000-9760000, para el color azul los puntos se ubican entre una latitud 720000-740000 y longitud 9740000-9750000 y para identificar con un color lila los puntos están situados a una Latitud entre 740000-780000 y Longitud 9810000 -9800000.

### 3.6. Representación gráfica de los resultados empleando el programa de ArcGIS



**Figura 7-3.** Registro meteorológico en la provincia de Chimborazo

Realizado por: Vargas, Pablo. 2022.

La zona seleccionada como área de estudio (Figura 7-3) para el desarrollo de este proyecto corresponde a la provincia de Chimborazo, ya que en esta área se encuentra distribuida en varios cantones 8 estaciones meteorológicas del Grupo GEAA- ESPOCH. Además, en la figura 7-3 se observa la distribución geográfica de los 72 puntos focales incluyendo los puntos de las estaciones meteorológicas, a partir de las cuales se obtuvo las mediciones del viento.

Del total de 18 puntos de medición seleccionadas se trabaja con los datos de velocidad de viento a 10 metros del suelo, los datos con lo que se trabajara son por hora desde el 1 de enero hasta el 31 de diciembre del 2021.

De toda la información copilada en cada punto focal durante el mismo periodo, se estableció el valor máximo, medio y mínimo que alcanzo la velocidad de viento en cada mes del año

### **3.6.1. *Modelo de interpolación de datos- Modelo de Interpolación Kriging***

Para la realización de los mapas de viento fue necesario utilizar una de las herramientas de ArcMap View versión 10.40.1 que es emplear un modelo de interpolación de datos que nos permitirá observar de forma gráfica el comportamiento espacial de un fenómeno, en nuestro caso se empleó el modelo de interpolación KRIGING.

Con el modelo de interpolación Kriging se consiguió predecir los valores de la velocidad del viento que se desconocían en varios puntos que no se encuentran registrados en nuestra base de datos. Por medio de esta interpolación Kriging no solo nos permite obtener mapas meteorológicos que demuestran el comportamiento del viento en varios puntos de medida sino también nos permite predecir el clima dentro de una zona es decir si hay presencia de lluvia o no.

Por lo tanto, en base al resultado obtenido después del cálculo de promedio de la velocidad del viento por mes, se inició con la etapa de procesamiento de datos y se obtuvo los mapas meteorológicos correspondientes a cada mes del año 2021, como se observa en la Figura 2-3.

### **3.6.2. *Modelo de interpolación de datos- Modelo de Interpolación IDW***

Para la realización de los mapas en nuestros puntos fue necesario utilizar la herramienta de ArcMap la cual nos permite obtener los resultados deseados.

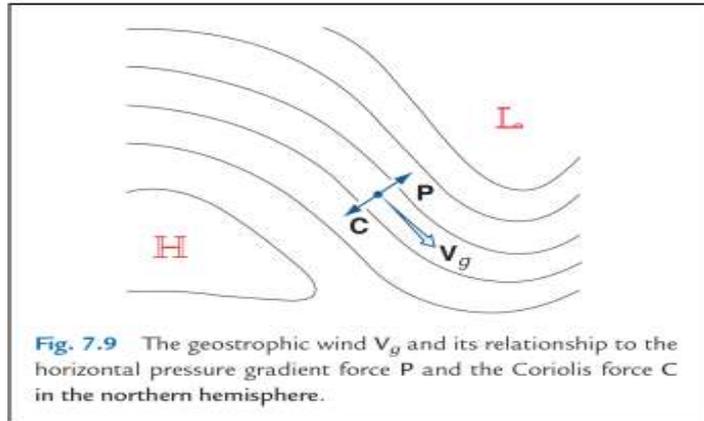
Los datos obtenidos en calculo promedio de la velocidad del viento por trimestre se inició con la etapa de procesamiento de datos y se obtuvo los mapas meteorológicos correspondientes a cada trimestre del año 2021, como se observa en la Figura 2-3.

### **3.6.3. *Representación de gráfica de indicadores***

A partir de los resultados gráficos (Figura 8-3) generados por la acción de la interpolación Kriging y IDW, podemos determinar la relación que existe entre las isotacas que se representan en el mapa en diferentes colores, es decir se etiqueta con colores en los puntos donde el viento viaja con la misma intensidad. Además, con los mapas gráficos nos permiten estudiar la relación de cada isotaca con la altura.

### **3.6.7. *Representación gráfica del comportamiento del viento***

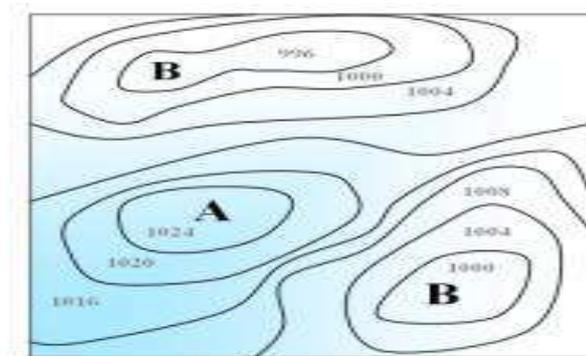
Observando las gráficas podemos deducir el comportamiento del viento gráficamente el cual toma forma tipo isoyetas dependiendo su presión longitud y altitud.



**Figura 8-3.** Comportamiento del viento

Realizado por: Vargas, Pablo. 2022.

Esta es una aproximación al viento real, producto del balance entre la fuerza de gradiente de presión y coriolis, que se desarrolla a través del equilibrio entre la magnitud de las dos fuerzas y la oposición en la dirección.

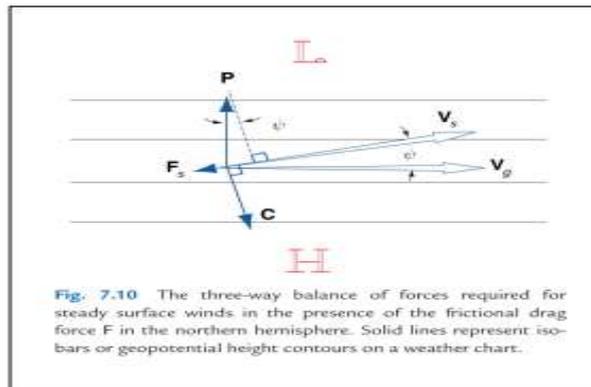


**Figura 9-3.** Flujo del aire

Realizado por: Vargas, Pablo. 2022.

Teóricamente este flujo de aire se caracteriza por ser rectilíneo, no acelerado y libre de fricción en la gráfica se muestra cómo se desplaza el viento en forma paralelo a las isobaras.

Las isobaras representan líneas con el mismo valor presión y teniendo en cuenta que la fuerza ejercida sobre las partículas de aire es proporcional al gradiente de presión, cabe recalcar que mientras más cerca estén las isobaras, mayor será la fuerza y por lo tanto la velocidad del viento.

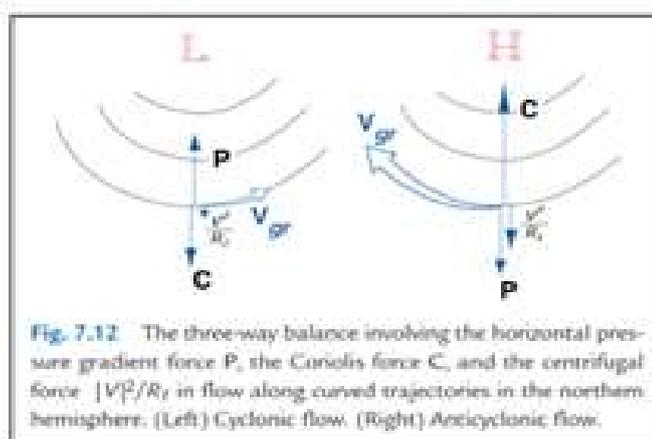


**Figura 10-3.** Balance de fuerzas

Realizado por: Vargas, Pablo. 2022.

La magnitud del retraso que ejerce la fricción sobre el movimiento del aire depende tanto de la rugosidad del terreno, características del flujo y el gradiente de temperatura.

En la gráfica tenemos el efecto conocido como la derivada de Ekman el cual representa el comportamiento del flujo del viento en diferentes niveles de la atmosfera.



**Figura 11-3.** Gradiente en sistemas de alta y baja presión

Realizado por: Vargas, Pablo. 2022.

Se puede observar en la gráfica el comportamiento del viento de gradiente el cual en los sistemas de alta y baja presión este fluye paralelo a las isobaras en forma curvilínea y sopla conforme a las manecillas del reloj en los sistemas anticiclónicos del hemisferio norte y en sentido contrario en os sistemas ciclónicos.

En los sistemas de alta presión, la fuerza de gradiente de presión y centrifuga que actúa hacia fuera que actúa hacia fuera, son equilibrados por Coriolis que actúa hacia dentro.

### 3.6.8. *Representación gráfica de indicadores a cincuenta metros*

Se realizó un análisis de velocidad de viento a 50m para ver su comportamiento y a futuro proponer su estudio a esa altura utilizando la fórmula Ley exponencial de Hellman es un método matemático que se representa con la siguiente fórmula y se puede observar las gráficas. (Figura 10-3).

$$\frac{v}{v_0} = \left(\frac{h}{h_0}\right)^\alpha \quad (13)$$

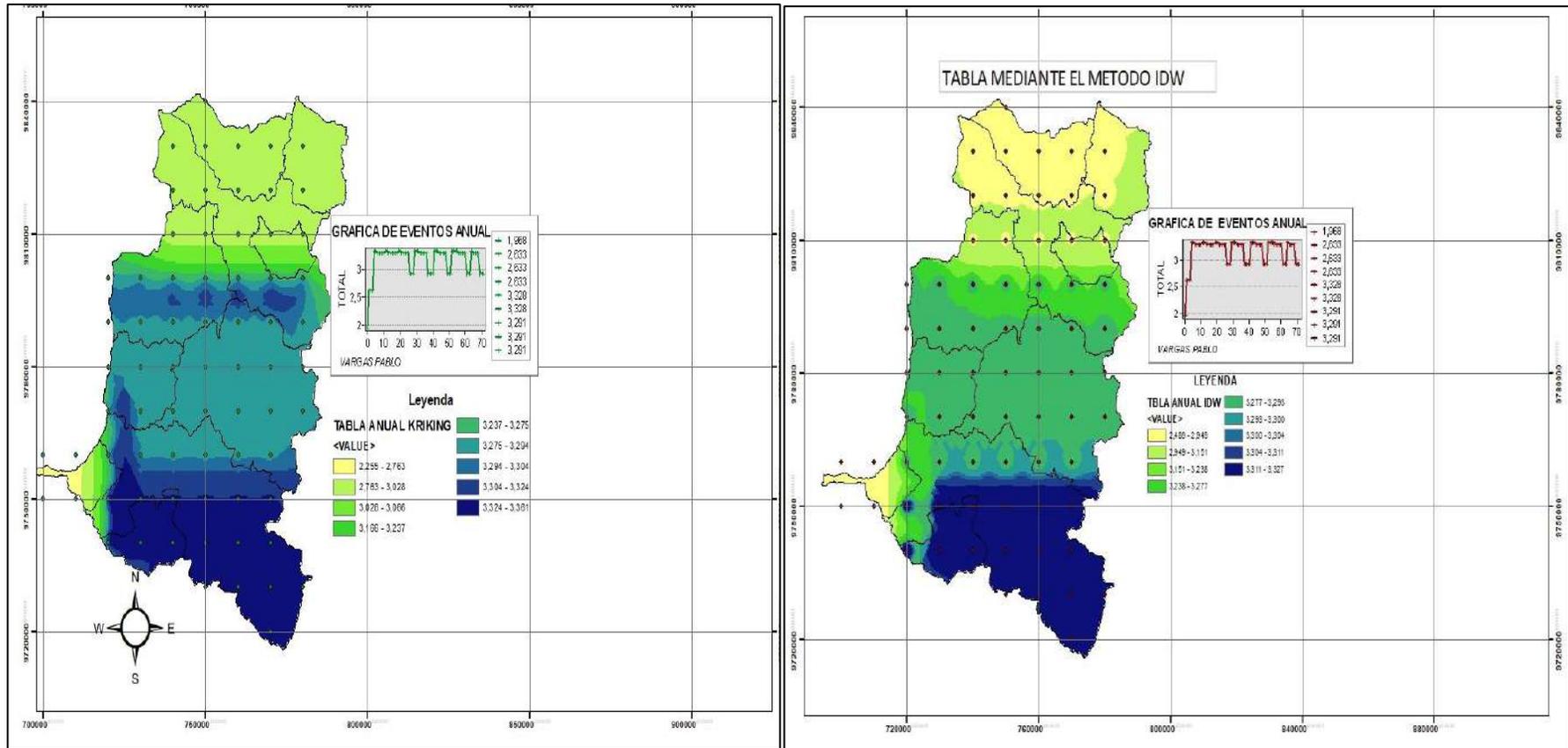


Figura 12-3. Interpolación kriging y IDW

Realizado por: Vargas, Pablo. 2022.



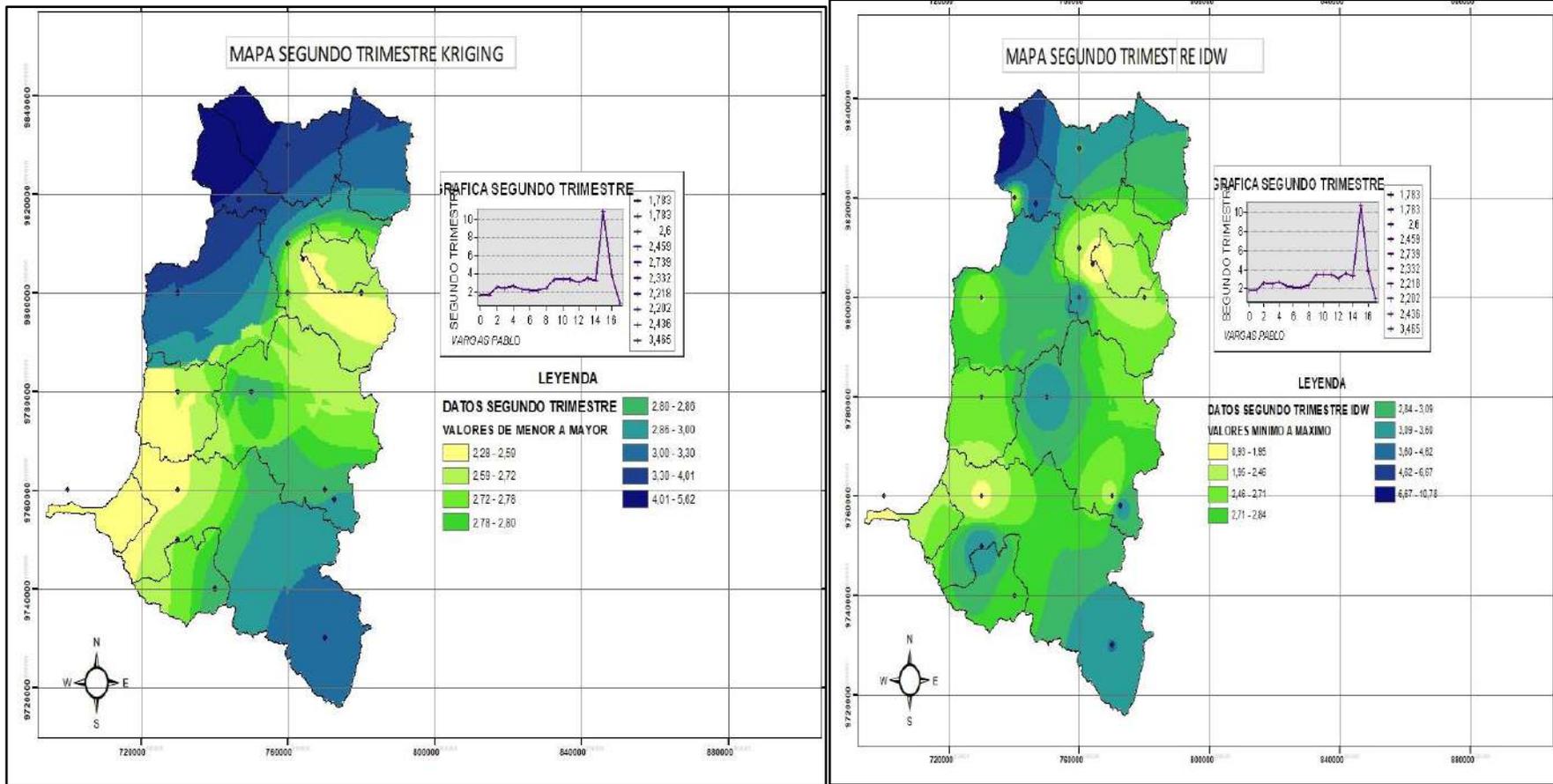


Figura 14-3. Mapa segundo trimestre

Realizado por: Vargas, Pablo. 2022.

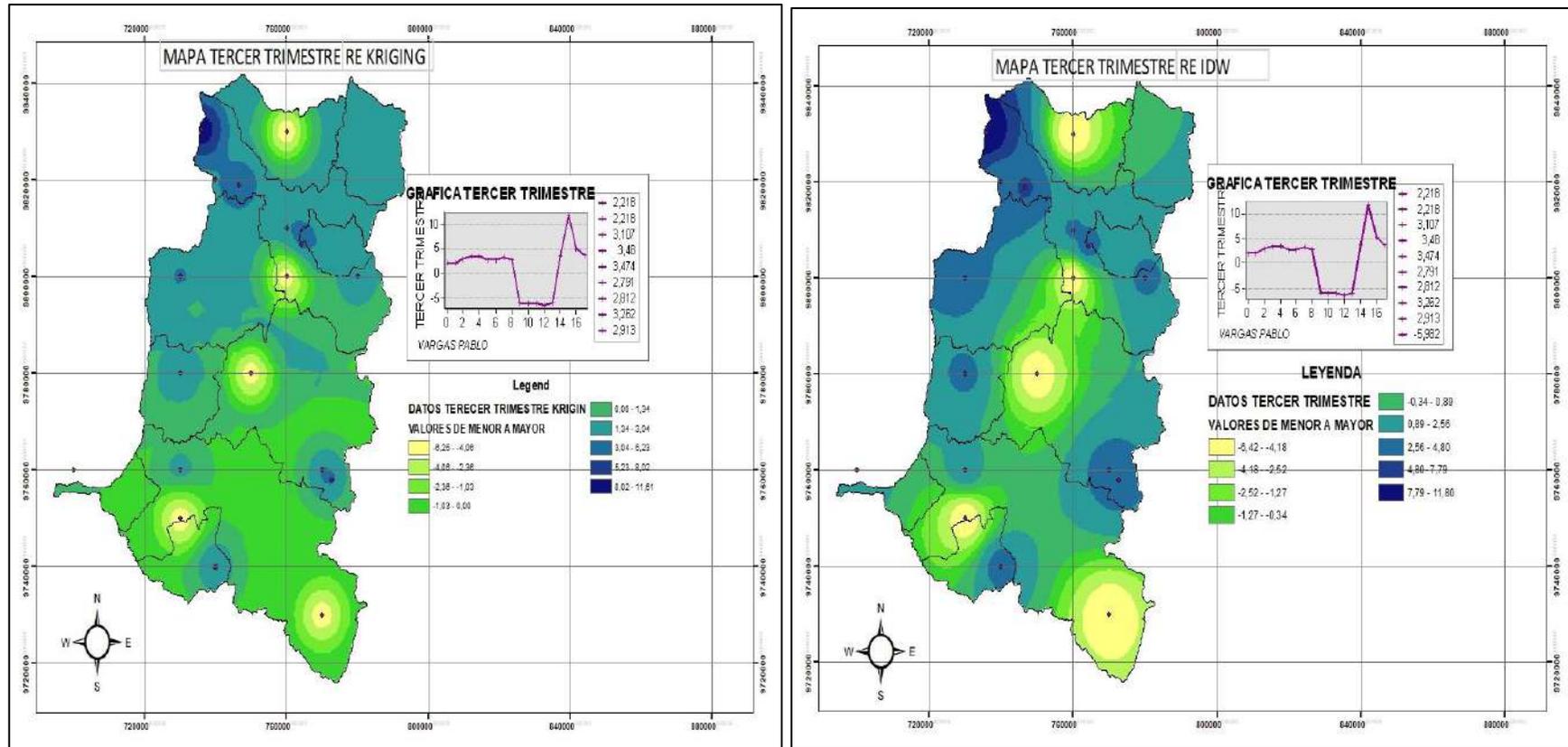
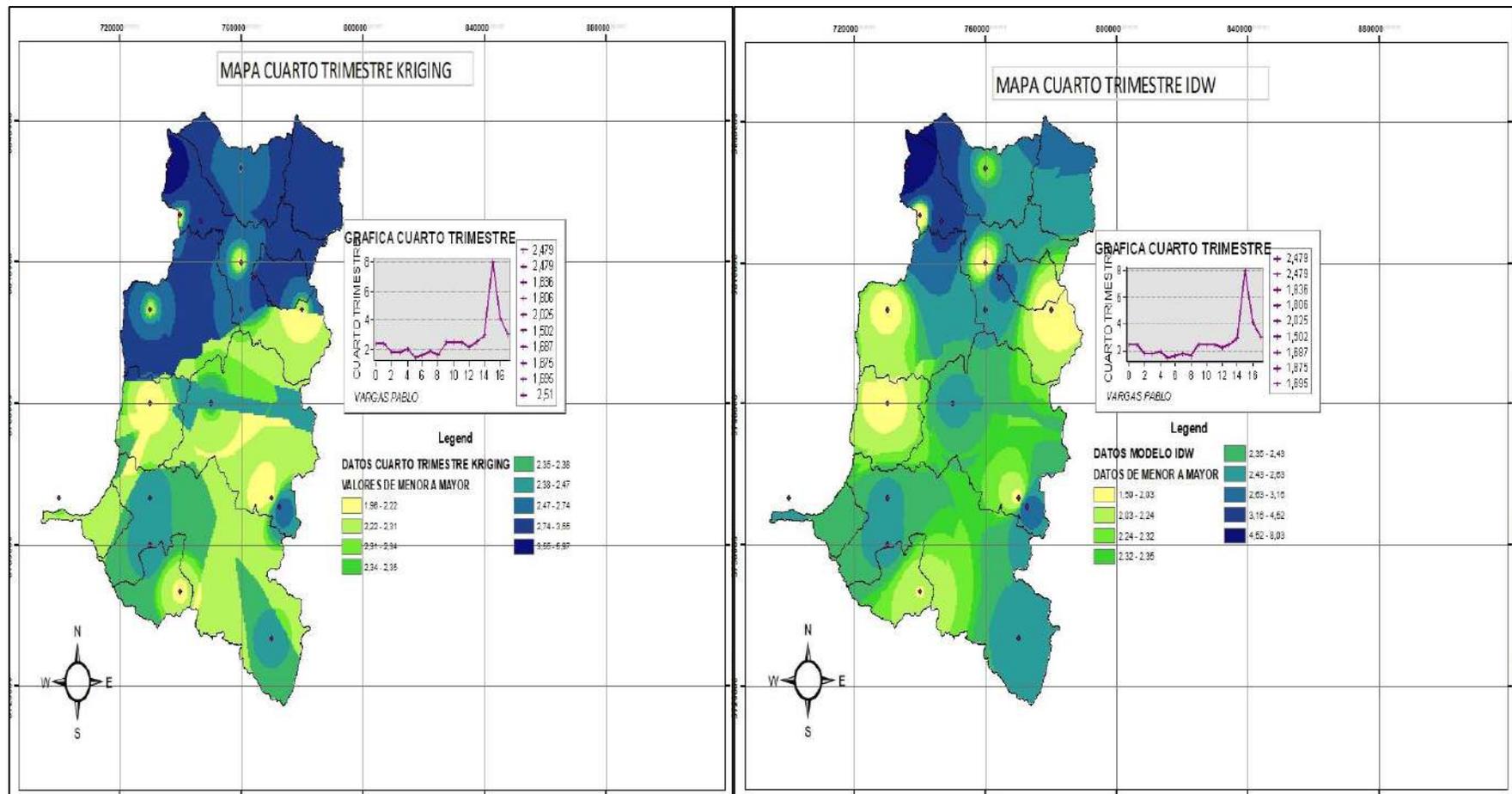


Figura 15-3. Mapa tercer trimestre

Realizado por: Vargas, Pablo. 2022.



**Figura 16-3.** Mapa cuarto trimestre

Realizado por: Vargas, Pablo. 2022.



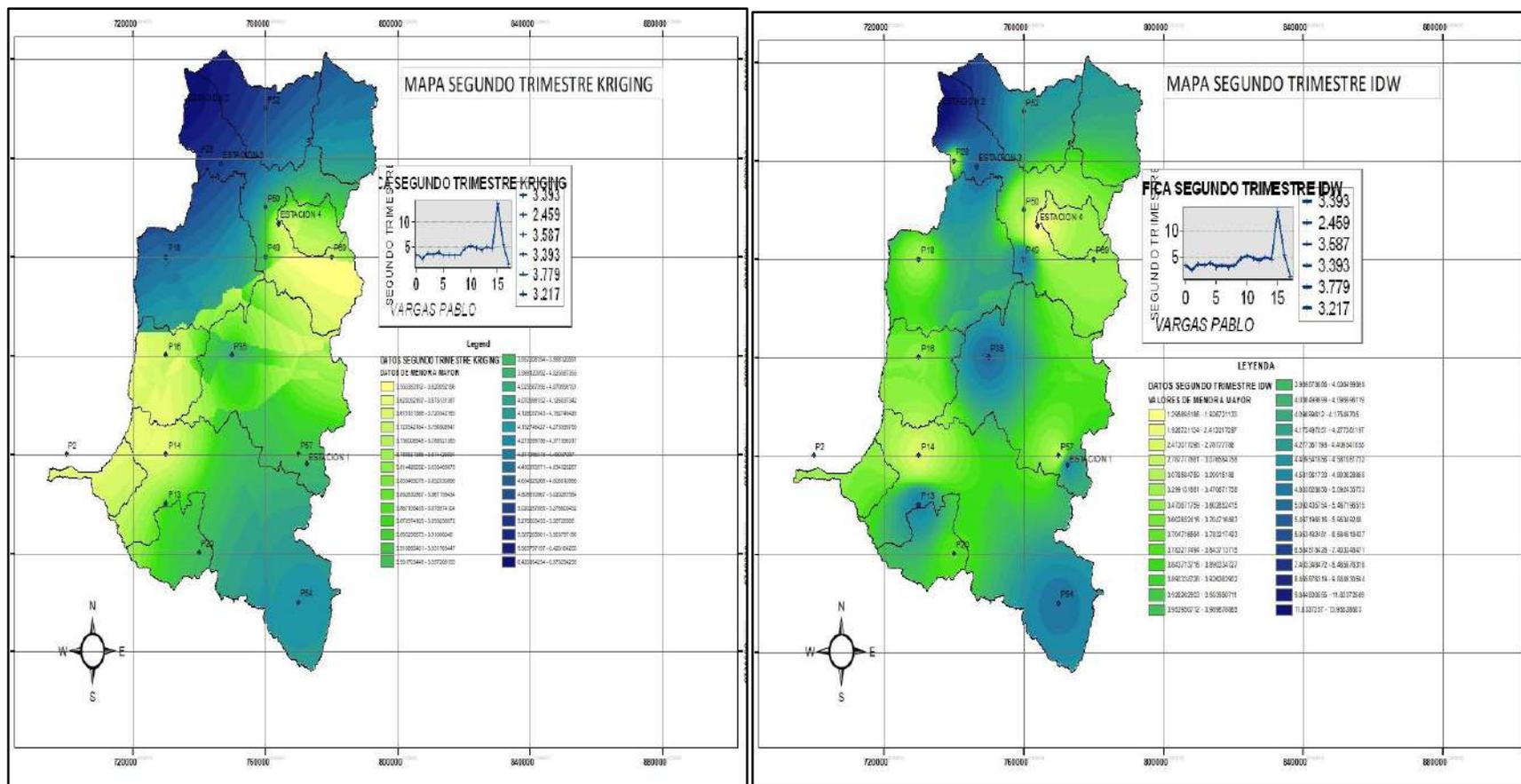


Figura 18-3. Mapa segundo trimestre 2021

Realizado por: Vargas, Pablo. 2022.

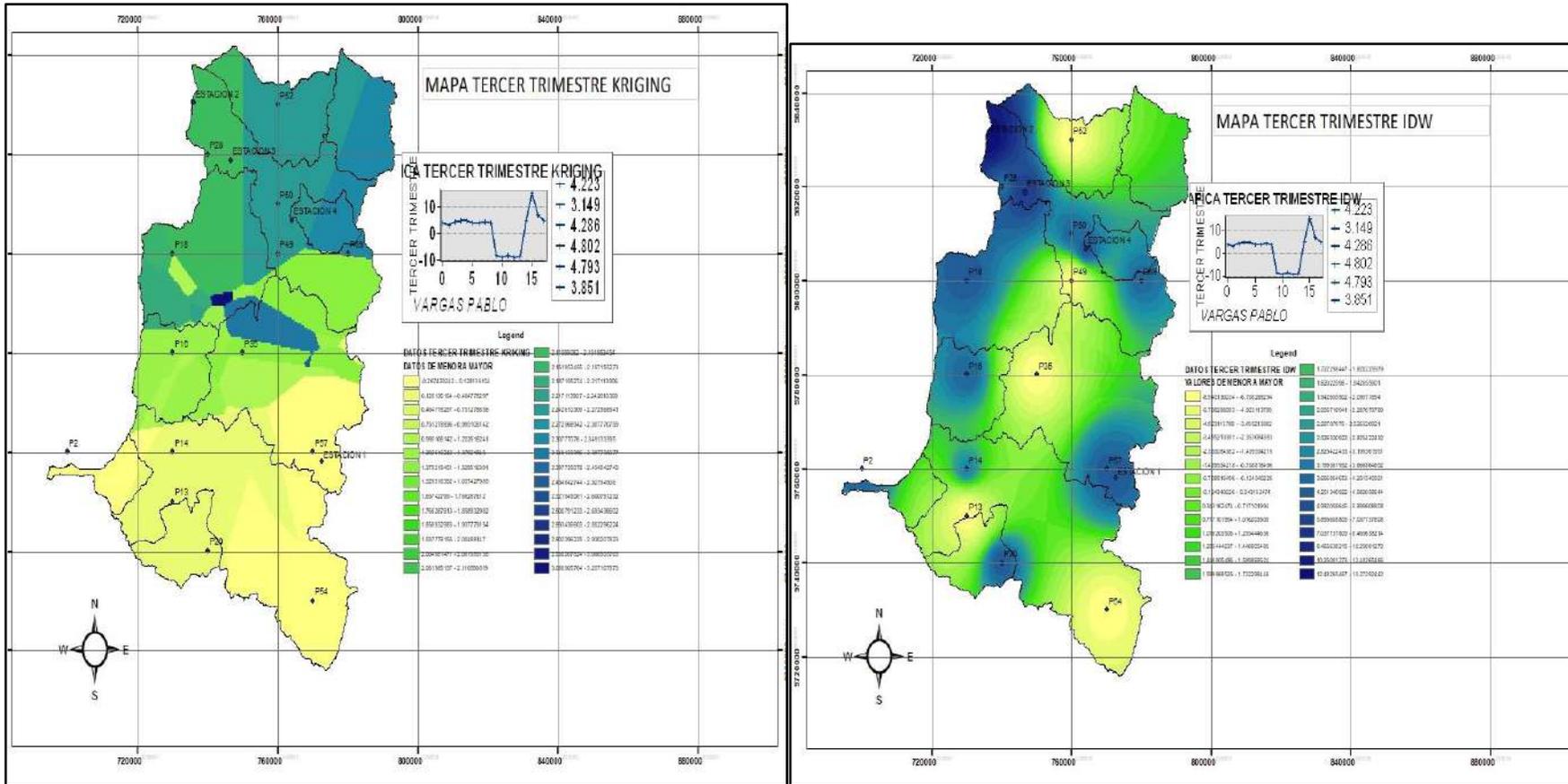


Figura 19-3. Mapa tercer trimestre 2021

Realizado por: Vargas, Pablo. 2022.

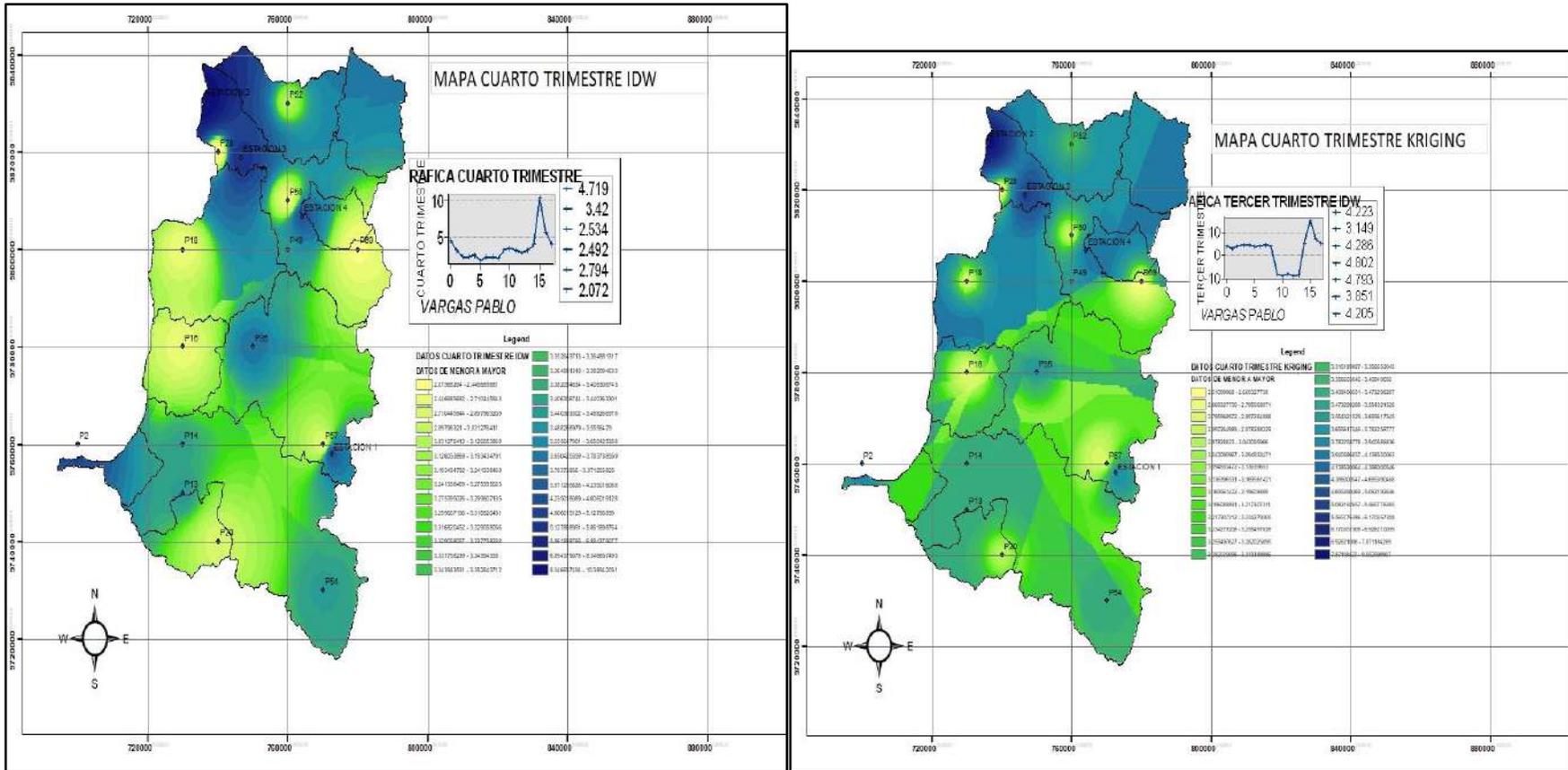


Figura 20-3. Mapa cuarto trimestre 2021

Realizado por: Vargas, Pablo. 2022.

Después de la recopilación y análisis de toda la base de datos generados del cálculo promedio de las mediciones meteorológicas del viento dentro de toda la provincia de Chimborazo correspondiente a 18 puntos donde se incluye las estaciones GEAA, procedimos a la verificación de los datos es decir eliminamos de forma computacional todos aquellos datos que presentan errores (-999).

En la Figura 12-3, se muestra el comportamiento del viento a partir de las isotacas para distinguir la velocidad del viento en cada punto de medición. La isotaca se clasifico en 9 colores que representan al valor mínimo al valor máximo de la velocidad con la que el viento se desplaza

**VALOR MIN-MAX** El color amarillo corresponde al valor mínimo de viento en un rango de 1.06-

2.11 lo que se relacionan con los puntos de medida situados a menor altitud y el color

azul el valor máximo de velocidad alcanzado por el viento en un rango de 3.18-5.53

considerando que es el valor que representa a puntos localizados a mayor altitud

Después de un análisis comparativo de valores mínimos y máximos, en la Tabla 5-3 se

puede observar que entre el mes de enero -abril el valor máximo es 2.99 -3.03 (m/s),

mientras que en el mes de mayo hasta septiembre hubo un flujo de viento que alcanzo

velocidades máximas en un rango de 3.18 a 5.53 (m/s) y en el mes desde octubre a

diciembre el viento se desplaza con una velocidad entre el rango 2.72-2.98 (m/s). Para el

caso de valores mínimos se puede apreciar que en julio el viento se desplazó con la

velocidad más baja durante todo el año 1.71(m/s) hasta llegar a un valor máximo 5.53

(m/s).

A pesar de que en el mes de julio el viento alcanza valores extremos en relación al resto de meses, se puede apreciar que existe una diferencia entre cada uno de los meses en cuanto a los valores medios, esta diferencia no es muy significativa si se considera los valores de todo el año, por lo tanto, se nota una ligera discrepancia entre los meses de mayo y septiembre.

**Tabla 5-3:** Valor mínimo y máximo alcanzada por el viento

<i>MES</i>	<i>VALOR MÍNIMO</i>	<i>VALOR MÁXIMO</i>
<i>Enero</i>	2.26	2.99
<i>Febrero</i>	2.01	2.99
<i>Marzo</i>	1.79	2.67
<i>Abril</i>	2.23	3.03
<i>Mayo</i>	2.12	3.18
<i>Junio</i>	2.06	3.98
<i>Julio</i>	1.71	5.53
<i>Agosto</i>	1.91	4.72
<i>Septiembre</i>	1.96	4.5
<i>Octubre</i>	2.29	2.98
<i>Noviembre</i>	1.99	2.72
<i>Diciembre</i>	2.25	2.87

Realizado por: (Vargas Pablo, 2021)

### 3.6.9. Histogramas

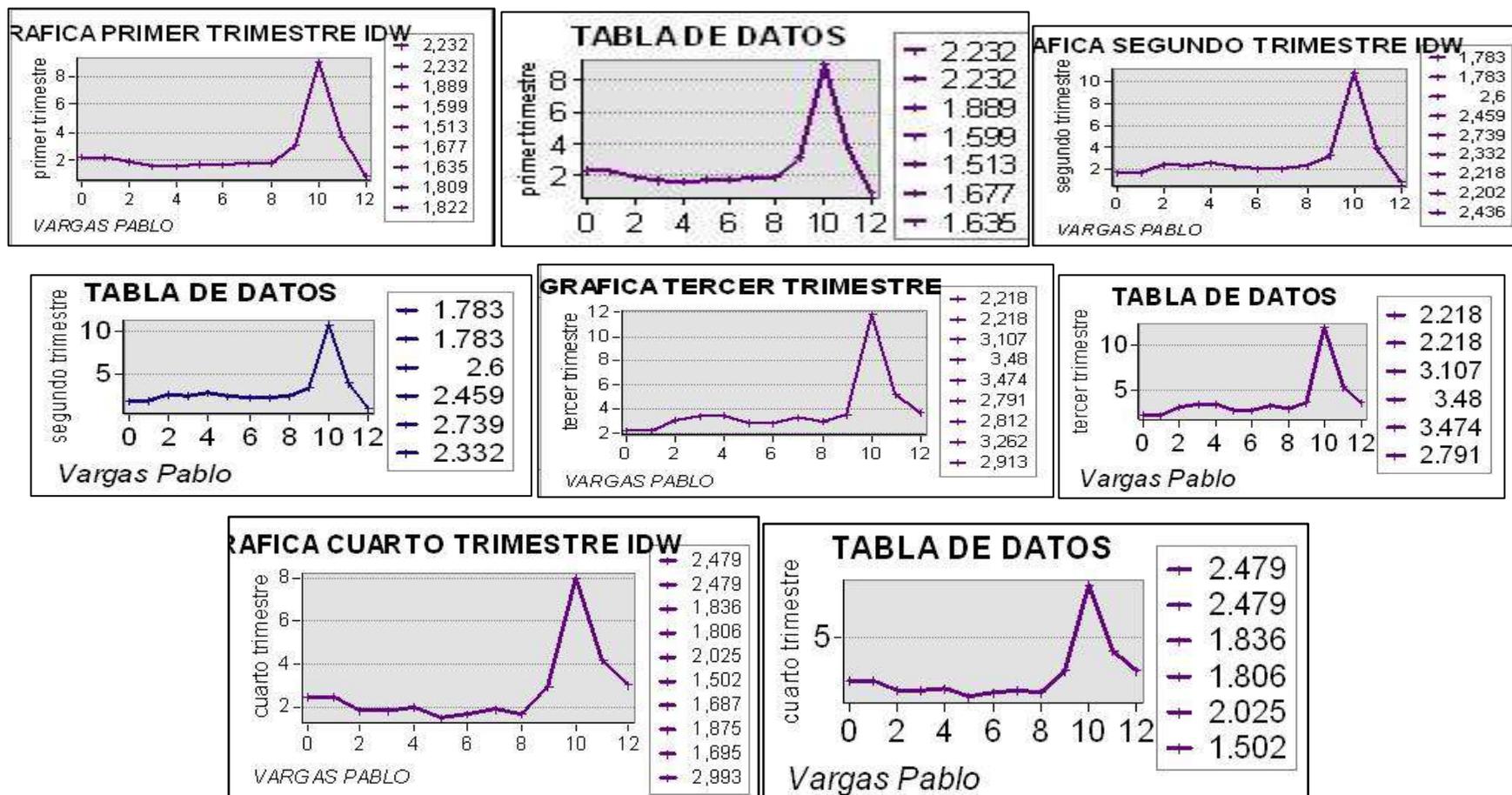


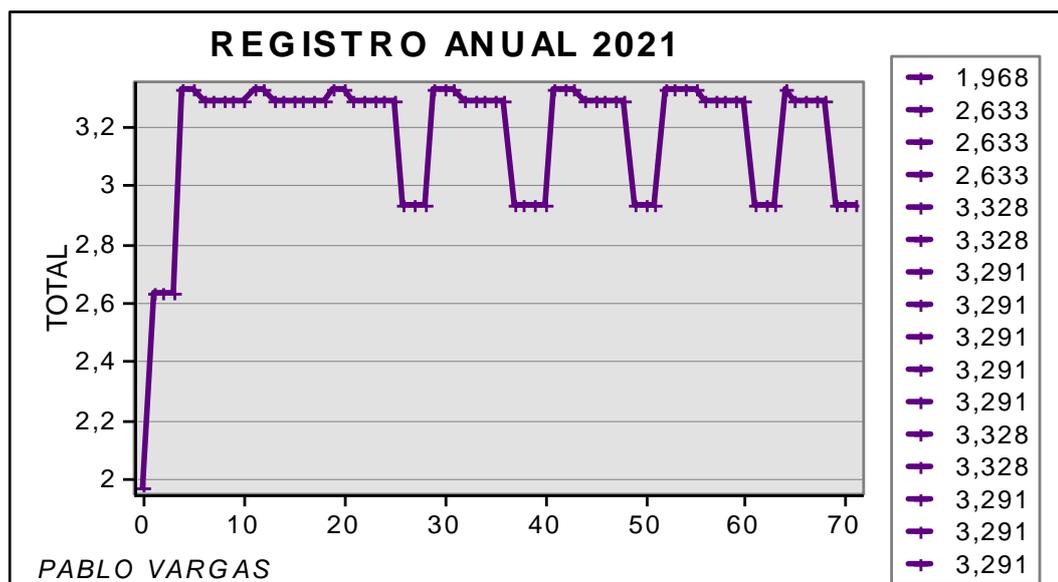
Figura 21-3. Histogramas de cada trimestre de la velocidad del viento

Realizado por: Vargas, Pablo. 2022.

Considerando que la velocidad del viento es variante con el tiempo o cambia de manera continua, fue necesario e importante describirlo de forma estadística estableciendo con una variable aleatoria. Para la interpretación de resultado se estableció un modelo de frecuencias de la velocidad del viento muy discreto y de fácil manejo e interpretación.

Se determina la cantidad de datos que se caracterizan por tener el mismo valor medio dentro de un cierto intervalo y se realiza una gráfica de valores o también llamado Histograma. En los histogramas se representa la probabilidad de cada velocidad.

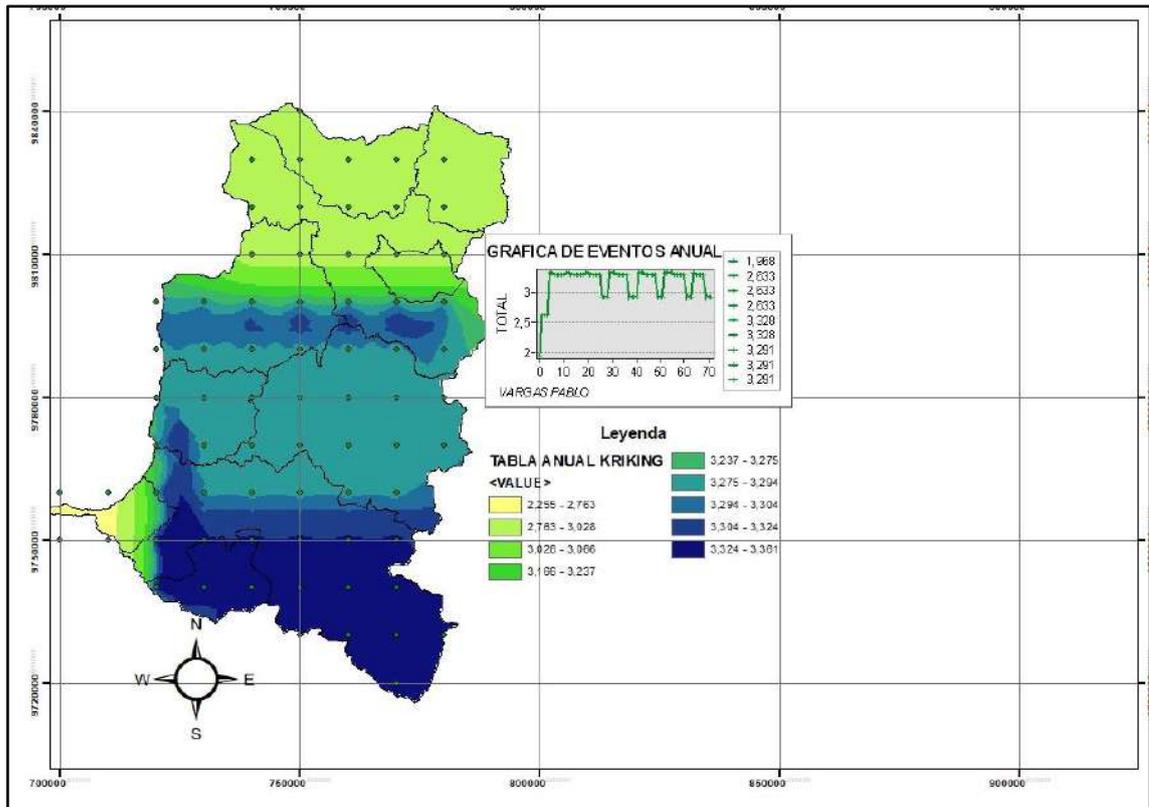
Los resultados obtenidos en cada histograma, no muestran que el flujo a mayor velocidad de viento inicio en el mes de mayo y finalizo en el mes de octubre, en los cantones ubicados a mayor altitud y longitud como Colta, Riobamba, Guamote, Alausí, Chunchi y Pallatanga.



**Figura 22-3.** Histograma anual de la velocidad del viento

Realizado por: Vargas, Pablo. 2022.

Si comparamos los histogramas mensuales correspondientes a la intensidad de la velocidad del viento, se puede apreciar que los valores medios de la velocidad del viento no sobrepasan al valor de 3.30 m/s durante todo el año, sin embargo, se puede considerar que en todo el año 2021 en la provincia de Chimborazo se registró que el flujo de viento a velocidades promedios.



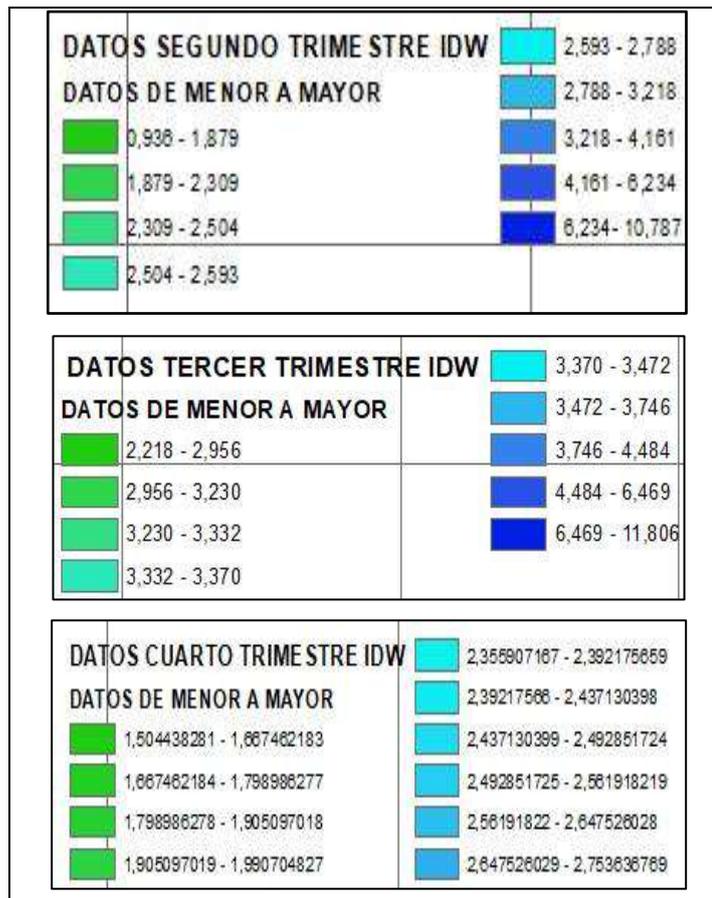
**Figura 23-3.** Vientos más fuertes

Realizado por: Vargas, Pablo. 2022.

Al analizar los mapas meteorológicos e histogramas diseñado se puede apreciar que durante los meses entre mayo y septiembre se genera los vientos máximos y hay presencia de fuertes fríos.

**3.6.10. Interpretación del parámetro de isotaca**

El parámetro de isotacas (colores) es un parámetro adimensional y representa el rango máximo, medio y mínimo de variación de la velocidad del viento durante un período de tiempo.



**Figura 24-3.** Isotaca por mes del 2021

**Realizado por:** Vargas, Pablo. 2022.

En la Figura 24-3 se aprecia que el rango de variación (isotacas) no es relativamente grande, oscila entre el 1.71 y 5.53 (m/s), lo que nos permite determinar que el viento es un fenómeno regular con el tiempo. Por lo tanto, podemos considerar que la relación que existe con la altura es creciente linealmente.

## **CONCLUSIONES**

Se monitoreo los datos meteorológicos de las estaciones del GEAA, además de datos satelitales para el desarrollo de los mapas geoestadísticos del viento.

Se analizo, proceso e imputo los datos meteorológicos del viento generados en formato CSV mediante tablas dinámica en archivo Excel que nos permitió eliminar o descartar datos con caracteres erróneos para facilitar el cálculo promedio de cada parámetro relacionado a la velocidad del viento

Se aplicó un modelo de interpolación para predecir el comportamiento del viento, mediante las funciones de ArcGIS y empleando el método global de interpolación Kriging, se diseñó los mapas de la velocidad del viento para apreciar de forma gráfica el comportamiento espacial del viento en la provincia de Chimborazo.

Con el modelo sinóptico Power Nasa y el método global de interpolación Kriging, usando métodos de geoprocesamiento de información se generó mapas meteorológicos del viento que se ajustó a la realidad de la zona de la provincia de Chimborazo.

## **RECOMENDACIONES**

Se recomienda iniciar realizar una revisión bibliográfica adecuada sobre los parámetros que influyen en la variación de la velocidad del viento.

Definir los puntos de medición a una altura de 10 metros sobre el nivel del suelo.

Es necesario realizar un análisis detallado de la información obtenida para discrepar los datos erróneos que se puedan presentar en la serie de datos.

Realizar el cálculo promedio de todos los datos generados por punto de medida para evitar que en el procesamiento de datos el modelo de interpolación no presente graficas con valores erróneos.

## BIBLIOGRAFÍA

**AEROTERRA.** *Sobre ArcGIS: La Plataforma de Mapeo y Análisis | Aeroterra S.A* [blog]. [Consulta: 10 enero 2022]. Disponible en: <https://www.aeroterra.com/es-ar/productos/sobre-arcgis/introduccion>

**ATRIA, I.** *Qué son las redes neuronales y sus funciones. ATRIA Innovation* [blog]. [Consulta: 13 enero 2022]. Disponible en: <https://www.atriainnovation.com/que-son-las-redes-neuronales-y-sus-funciones/>

**CLIMA ANDINO.** *Velocidad del viento* [en línea]. 2015, España, pp.1-50. [Consulta: 12 enero 2022]. Disponible en: <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/859/13/11.%20Viento%20.pdf>

**CORTE, D; et al.** *Validación del modelo matemático “Función de densidad de probabilidad de Weibull, evaluando el recurso eólico en la zona del caribe colombiano: Caso estudio* [en línea]. 2015, Colombia, pp.1-24. [Consulta: 10 enero 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.15665/rp.v13i2.485>

**CUENCA, J. y LESMES, H.** *Atlas del viento dinámica atmosférica* [blog]. [Consulta: 15 enero 2022]. Disponible en: <https://ctmaramonllull.files.wordpress.com/2012/09/070-dinc3a1mica-atmosfc3a9rica.pdf>

**ESRI, A.** *¿Qué es ArcGIS?* [blog]. [Consulta: 11 enero 2022]. Disponible en: <https://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n00000014000000.htm>

**FLORES, J.** *Análisis del viento.* Madrid – España, 2015. pp. 1-50

**GEOINNOVA.** *¿Qué es la tecnología ARCGIS?* [blog]. [Consulta: 15 enero 2022]. Disponible en: <https://geoinnova.org/blog-territorio/que-es-la-tecnologia-arcgis/>

**GEOINNOVA.** *Los SIG aplicados al Medio Ambiente* [blog]. [Consulta: 15 enero 2022]. Disponible en: <https://geoinnova.org/blog-territorio/los-sig-aplicados-al-medio-ambiente/>

**GUEVARA, J.** Cuantificación del perfil del viento hasta 100 m de altura desde la superficie y su incidencia en la climatología eólica. *Terra*, 2013, vol. 29, no 46, p. 81-101.

**INSTITUTO DE TECNOLOGÍAS EDUCATIVAS.** *Dinámica de las masas de aire* [blog].  
[Consulta: 15 enero 2022]. Disponible en:  
[https://jfferrer.webs.ull.es/Apuntes3/Leccion03/1\\_dinmica\\_de\\_las\\_masas\\_de\\_aire.html](https://jfferrer.webs.ull.es/Apuntes3/Leccion03/1_dinmica_de_las_masas_de_aire.html)

**PUERTA, A.** Análisis de curvas velocidad de viento y altura: propuesta de identificación de patrones. 2018.

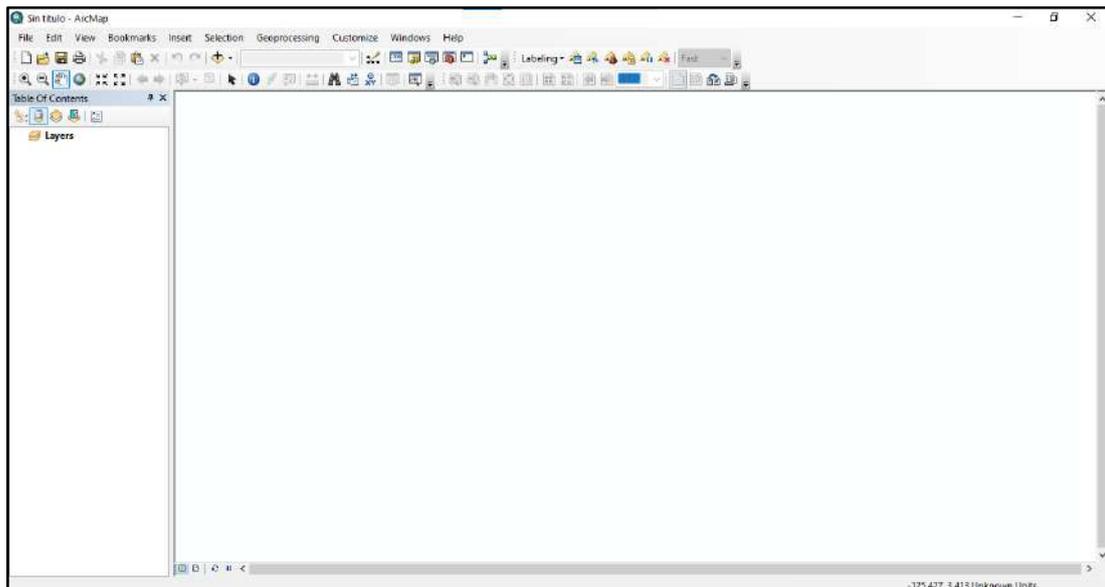
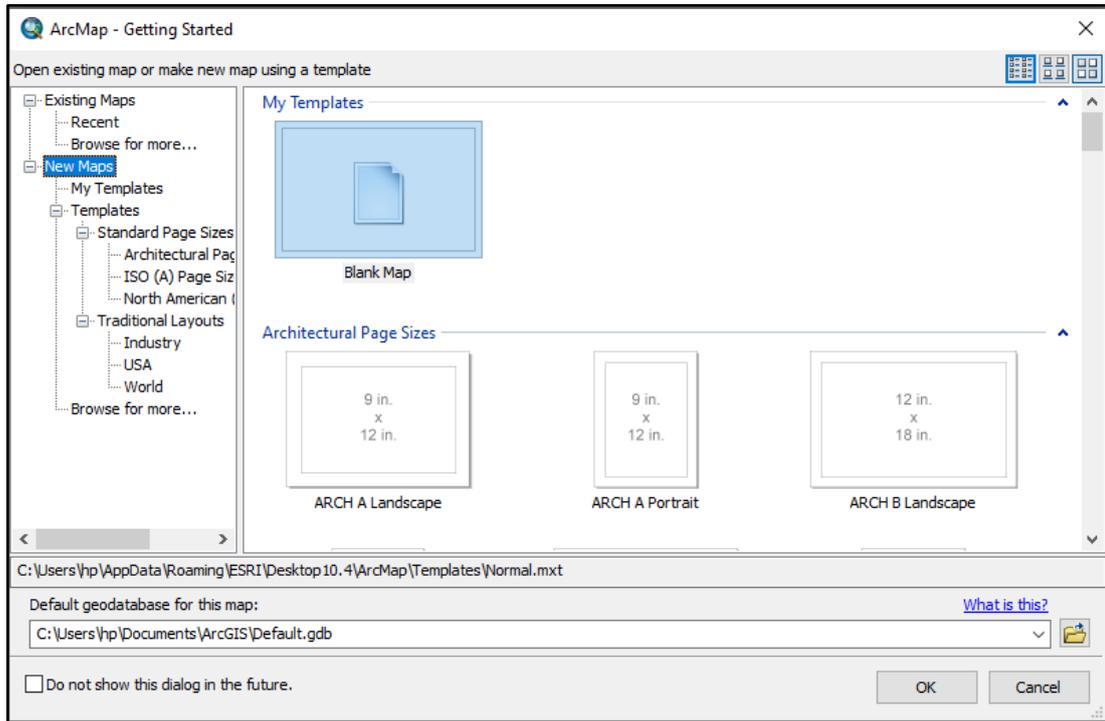
**TERRERO, E.; et al.** Método de inverso de la potencia de la distancia para estimar la velocidad del viento. *Ingeniería Energética*, 2014, vol. 35, no 3, p. 263-273.

**VALAREZO, G.; et al.** *Espacio Ecuatoriano*. CONGOPE, Consorcio de Gobiernos Autónomos Provinciales del Ecuador, 2017.

  
DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS  
Y RECURSOS PARA EL APRENDIZAJE  
Y LA INVESTIGACIÓN  
 Inga Jhonatan Parreno Quintana VEJ  
GERENTE ANALISTA DE BIBLIOTECA 1

# ANEXOS

## ANEXO A. INTERFAZ GRÁFICA DE ARCMAP



Page and Print Setup



Printer Setup

Name: EPSON L355 Series

Properties...

Status: Offline

Type: Epson ESC/P-R V4 Class Driver

Where: USB001

Comments:

Paper

Size: Carta

Source: Selección automática

Orientation:  Portrait  Landscape

- Printer Paper
- Printer Margins
- Map Page (Page Layout)
- Sample Map Elements

Map Page Size

Use Printer Paper Settings

Page

Page Size that will be used is equal to Printer Paper Size

Width: 21,59 Centimeters

Height: 27,94 Centimeters

Orientation:  Portrait  Landscape



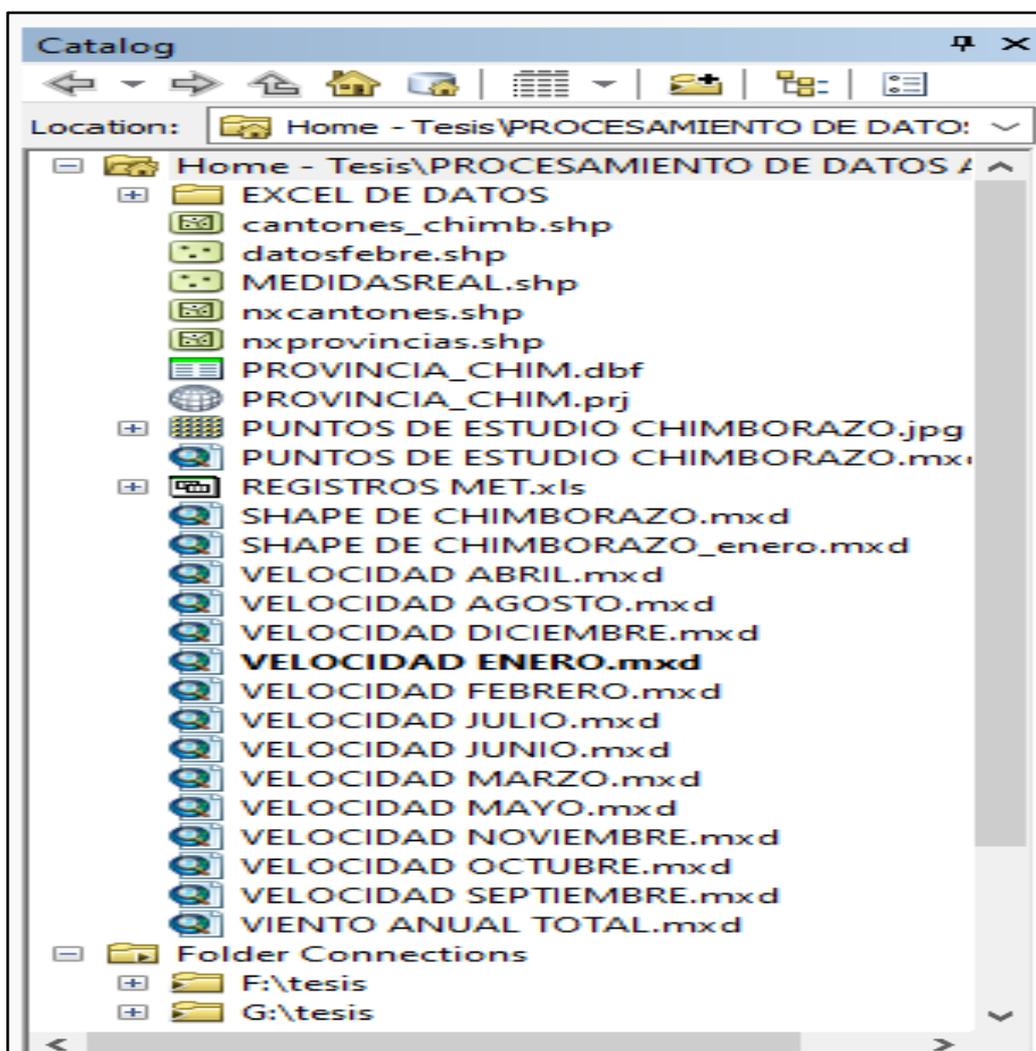
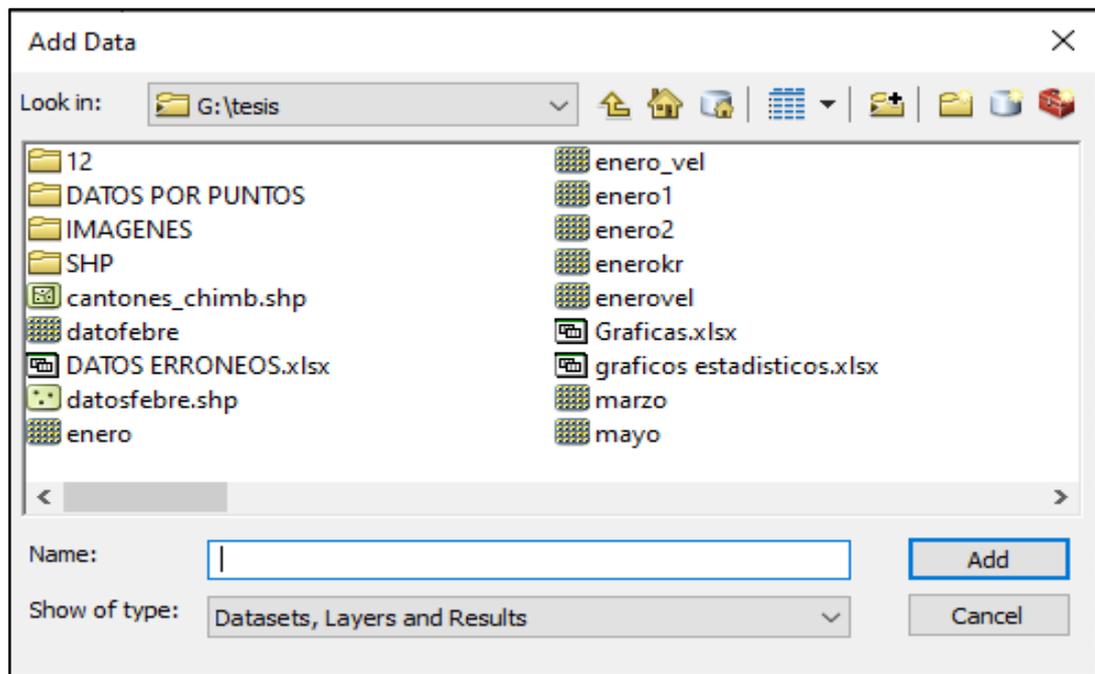
Show Printer Margins on Layout  Scale Map Elements proportionally to changes in Page Size

Data Driven Pages...

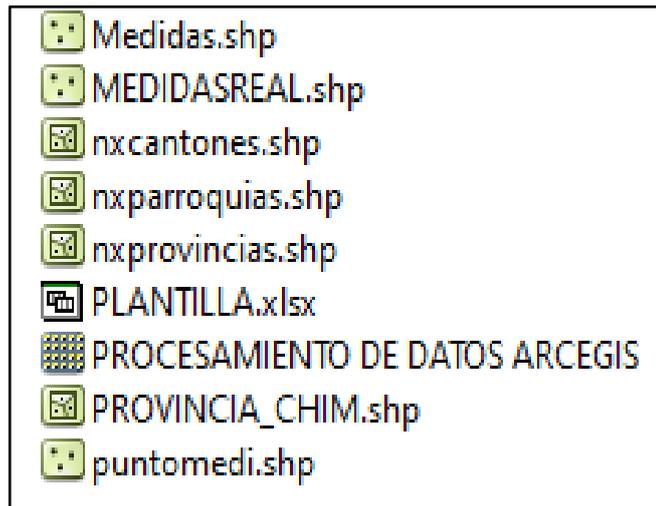
OK

Cancel

ANEXO B. INTERFAZ GRÁFICA PARA AÑADIR DATOS AL PROGRAMA ARCOMP



ANEXO C. TABLA DE ATRIBUTOS DEL ARCHIVO DE DATOS EN FORMATO SHP.



Table

PROVINCIA\_CHIM

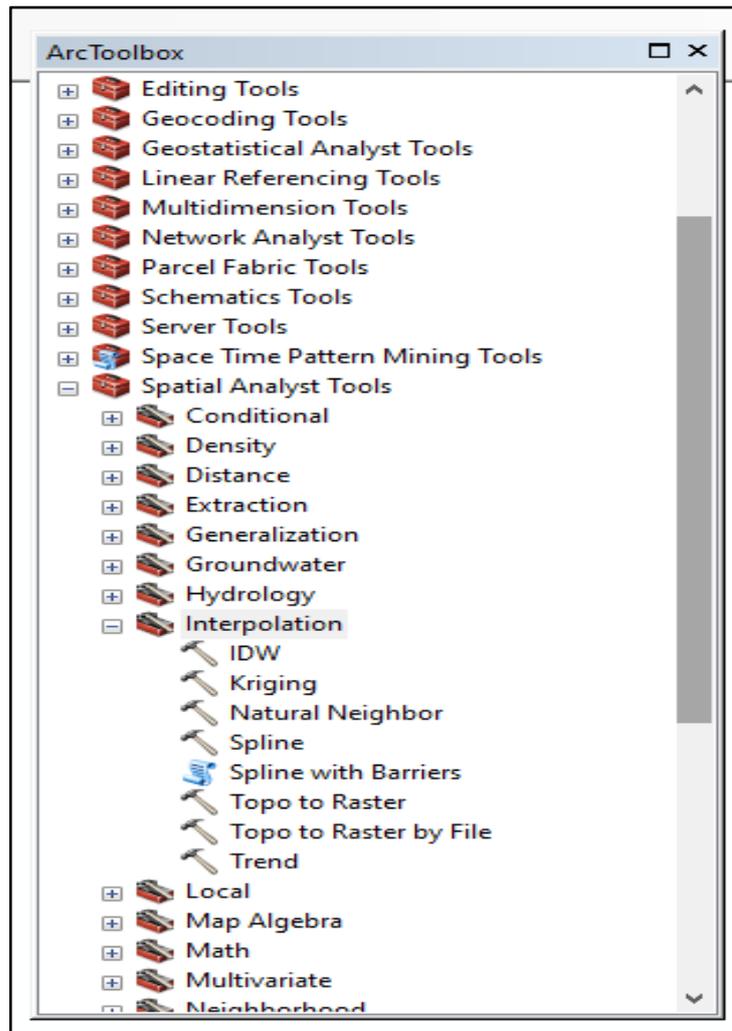
FID	Shape *	DPA VALOR	DPA ANIO	DPA CANTON	DPA DESCAN	DPA PROVIN	DPA DESPRO
0	Polygon	0	2012	0601	RIOBAMBA	06	CHIMBORAZO
1	Polygon	0	2012	0602	ALAUSI	06	CHIMBORAZO
2	Polygon	0	2012	0603	COLTA	06	CHIMBORAZO
3	Polygon	0	2012	0604	CHAMBO	06	CHIMBORAZO
4	Polygon	0	2012	0605	CHUNCHI	06	CHIMBORAZO
5	Polygon	0	2012	0606	GUAMOTE	06	CHIMBORAZO
6	Polygon	0	2012	0607	GUANO	06	CHIMBORAZO
7	Polygon	0	2012	0608	PALLATANGA	06	CHIMBORAZO
8	Polygon	0	2012	0609	PENIPE	06	CHIMBORAZO
9	Polygon	0	2012	0610	CUMANDA	06	CHIMBORAZO

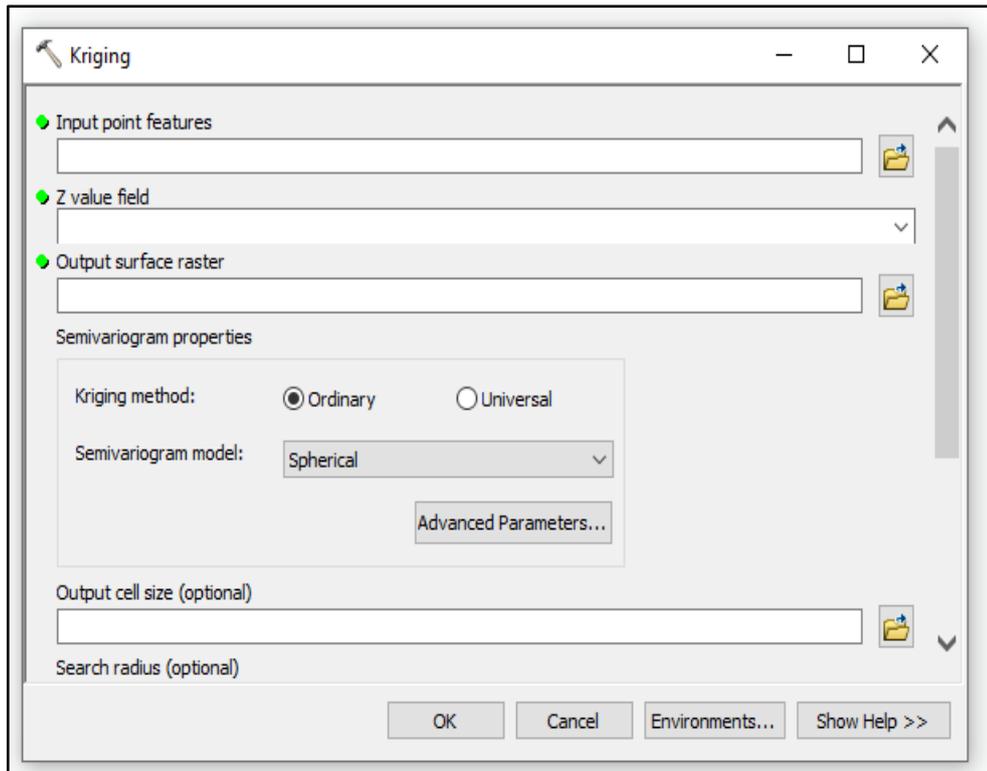
Table

MEDIDASREAL

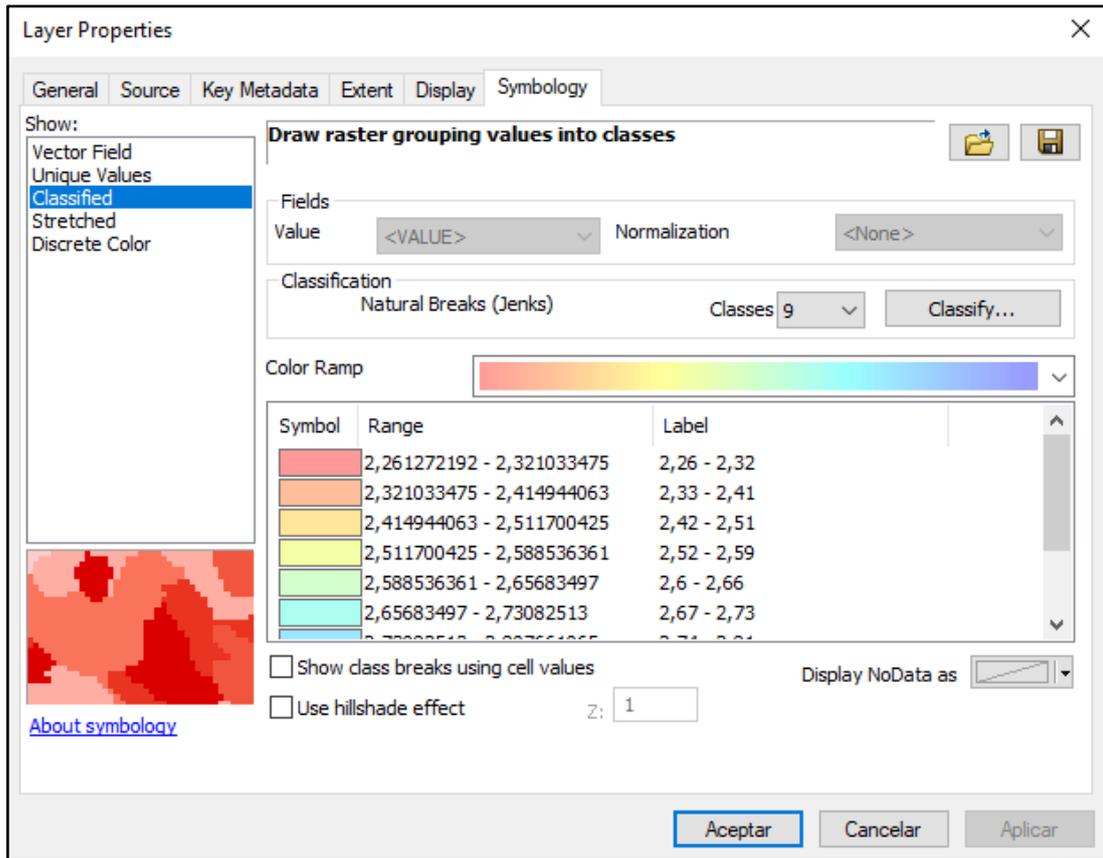
FID	Shape *	ID	X	Y	LATITUD	LONGITUD	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DECIEMBRE	TOTAL	F19
1	Point	P1	700000	9750000	-2.26967158	-79.20167116	2.126035	2.403257	2.284458	1.930944	1.775914	1.719153	1.528959	1.682056	1.818959	1.970175	2.211792	2.30457	1.983332	
2	Point	P2	700000	9760000	-2.17024505	-79.20173820	2.969856	3.015754	2.689710	2.629890	2.583085	2.530639	2.105282	2.281833	2.432403	2.713804	2.746236	2.80086	2.633373	
3	Point	P3	710000	9750000	-2.26956870	-79.11174066	2.969856	3.015754	2.689710	2.629890	2.583085	2.530639	2.105282	2.281833	2.432403	2.713804	2.746236	2.80086	2.633373	
4	Point	P4	710000	9760000	-2.17013546	-79.11185511	2.969856	3.015754	2.689710	2.629890	2.583085	2.530639	2.105282	2.281833	2.432403	2.713804	2.746236	2.80086	2.633373	
5	Point	P5	720000	9740000	-2.35085201	-79.02173375	2.84424	2.463765	2.034597	3.003167	3.015833	3.923722	5.311237	4.505375	4.384458	2.954651	2.076792	2.47414	3.327985	
6	Point	P6	720000	9750000	-2.26943642	-79.02185885	2.84424	2.463765	2.034597	3.003167	3.015833	3.923722	5.311237	4.505375	4.384458	2.954651	2.076792	2.47414	3.327985	
7	Point	P7	720000	9760000	-2.1700199	-79.02197864	2.821492	2.388414	2.079019	2.705236	3.811949	3.877625	5.364731	4.623097	4.411853	2.811855	2.157597	2.561828	3.290612	
8	Point	P8	720000	9770000	-2.07900327	-79.02209372	2.821492	2.388414	2.079019	2.705236	3.811949	3.877625	5.364731	4.623097	4.411853	2.811855	2.157597	2.561828	3.290612	
9	Point	P9	720000	9780000	-1.98919853	-79.02220389	2.821492	2.388414	2.079019	2.705236	3.811949	3.877625	5.364731	4.623097	4.411853	2.811855	2.157597	2.561828	3.290612	
10	Point	P10	720000	9790000	-1.8976968	-79.02231915	2.821492	2.388414	2.079019	2.705236	3.811949	3.877625	5.364731	4.623097	4.411853	2.811855	2.157597	2.561828	3.290612	
11	Point	P11	720000	9800000	-1.80635274	-79.02248951	2.821492	2.388414	2.079019	2.705236	3.811949	3.877625	5.364731	4.623097	4.411853	2.811855	2.157597	2.561828	3.290612	
12	Point	P12	730000	9740000	-2.3507218	-78.93185100	2.84424	2.463765	2.034597	3.003167	3.015833	3.923722	5.311237	4.505375	4.384458	2.954651	2.076792	2.47414	3.327985	
13	Point	P13	730000	9750000	-2.26010405	-78.93198185	2.84424	2.463765	2.034597	3.003167	3.015833	3.923722	5.311237	4.505375	4.384458	2.954651	2.076792	2.47414	3.327985	
14	Point	P14	730000	9760000	-2.16989896	-78.93210700	2.821492	2.388414	2.079019	2.705236	3.811949	3.877625	5.364731	4.623097	4.411853	2.811855	2.157597	2.561828	3.290612	
15	Point	P15	730000	9770000	-2.07948739	-78.93222738	2.821492	2.388414	2.079019	2.705236	3.811949	3.877625	5.364731	4.623097	4.411853	2.811855	2.157597	2.561828	3.290612	
16	Point	P16	730000	9780000	-1.98907589	-78.93234254	2.821492	2.388414	2.079019	2.705236	3.811949	3.877625	5.364731	4.623097	4.411853	2.811855	2.157597	2.561828	3.290612	
17	Point	P17	740000	9790000	-1.89866389	-78.93245250	2.821492	2.388414	2.079019	2.705236	3.811949	3.877625	5.364731	4.623097	4.411853	2.811855	2.157597	2.561828	3.290612	
18	Point	P18	730000	9800000	-1.80825198	-78.9325675	2.821492	2.388414	2.079019	2.705236	3.811949	3.877625	5.364731	4.623097	4.411853	2.811855	2.157597	2.561828	3.290612	
19	Point	P19	730000	9810000	-1.717907599	-78.93273454	2.821492	2.388414	2.079019	2.705236	3.811949	3.877625	5.364731	4.623097	4.411853	2.811855	2.157597	2.561828	3.290612	
20	Point	P20	740000	9740000	-2.35050498	-78.84197356	2.84424	2.463765	2.034597	3.003167	3.015833	3.923722	5.311237	4.505375	4.384458	2.954651	2.076792	2.47414	3.327985	
21	Point	P21	740000	9750000	-2.2601789	-78.84210918	2.84424	2.463765	2.034597	3.003167	3.015833	3.923722	5.311237	4.505375	4.384458	2.954651	2.076792	2.47414	3.327985	
22	Point	P22	740000	9760000	-2.16977869	-78.84224085	2.821492	2.388414	2.079019	2.705236	3.811949	3.877625	5.364731	4.623097	4.411853	2.811855	2.157597	2.561828	3.290612	
23	Point	P23	740000	9770000	-2.07936937	-78.84239617	2.821492	2.388414	2.079019	2.705236	3.811949	3.877625	5.364731	4.623097	4.411853	2.811855	2.157597	2.561828	3.290612	
24	Point	P24	740000	9780000	-1.98959994	-78.84248833	2.821492	2.388414	2.079019	2.705236	3.811949	3.877625	5.364731	4.623097	4.411853	2.811855	2.157597	2.561828	3.290612	
25	Point	P25	740000	9790000	-1.8985534	-78.84260114	2.821492	2.388414	2.079019	2.705236	3.811949	3.877625	5.364731	4.623097	4.411853	2.811855	2.157597	2.561828	3.290612	
26	Point	P26	740000	9800000	-1.80814676	-78.84271061	2.821492	2.388414	2.079019	2.705236	3.811949	3.877625	5.364731	4.623097	4.411853	2.811855	2.157597	2.561828	3.290612	
27	Point	P27	740000	9810000	-1.71740002	-78.84281472	2.79637	2.029211	1.802581	3.52778	3.399745	3.515403	4.86793	4.188889	4.022319	2.452589	1.989556	2.283266	2.934924	
28	Point	P28	740000	9820000	-1.62733319	-78.84291348	2.79637	2.029211	1.802581	3.52778	3.399745	3.515403	4.86793	4.188889	4.022319	2.452589	1.989556	2.283266	2.934924	
29	Point	P29	740000	9830000	-1.53602627	-78.84300691	2.79637	2.029211	1.802581	3.52778	3.399745	3.515403	4.86793	4.188889	4.022319	2.452589	1.989556	2.283266	2.934924	
30	Point	P30	750000	9720000	-2.44884262	-78.75196392	2.84424	2.463765	2.034597	3.003167	3.015833	3.923722	5.311237	4.505375	4.384458	2.954651	2.076792	2.47414	3.327985	
31	Point	P31	750000	9730000	-2.35844235	-78.7518138	2.84424	2.463765	2.034597	3.003167	3.015833	3.923722	5.311237	4.505375	4.384458	2.954651	2.076792	2.47414	3.327985	
32	Point	P32	750000	9740000	-2.26804176	-78.75224327	2.84424	2.463765	2.034597	3.003167	3.015833	3.923722	5.311237	4.505375	4.384458	2.954651	2.076792	2.47414	3.327985	
33	Point	P33	750000	9750000	-2.16964205	-78.75237958	2.821492	2.388414	2.079019	2.705236	3.811949	3.877625	5.364731	4.623097	4.411853	2.811855	2.157597	2.561828	3.290612	
34	Point	P34	750000	9760000	-2.07924021	-78.75251031	2.821492	2.388414	2.079019	2.705236	3.811949	3.877625	5.364731	4.623097	4.411853	2.811855	2.157597	2.561828	3.290612	
35	Point	P35	750000	9770000	-1.98883927	-78.75263547	2.821492	2.388414	2.079019	2.705236	3.811949	3.877625	5.364731	4.623097	4.411853	2.811855	2.157597	2.561828	3.290612	
36	Point	P36	750000	9780000	-1.89843822	-78.75275505	2.821492	2.388414	2.079019	2.705236	3.811949	3.877625	5.364731	4.623097	4.411853	2.811855	2.157597	2.561828	3.290612	
37	Point	P37	750000	9790000	-1.80803707	-78.75288980	2.821492	2.388414	2.079019	2.705236	3.811949	3.877625	5.364731	4.623097	4.411853	2.811855	2.157597	2.561828	3.290612	
38	Point	P38	750000	9800000	-1.71763882	-78.75297751	2.79637	2.029211	1.802581	3.52778	3.399745	3.515403	4.86793	4.188889	4.022319	2.452589	1.989556	2.283266	2.934924	
39	Point	P39	750000	9810000	-1.62723447	-78.75308038	2.79637	2.029211	1.802581	3.52778	3.399745	3.515403	4.86793	4.188889	4.022319	2.452589	1.989556	2.283266	2.934924	
40	Point	P40	750000	9820000	-1.53603304	-78.75317760	2.79637	2.029211	1.802581	3.52778	3.399745	3.515403	4.86793	4.188889	4.022319	2.452589	1.989556	2.283266	2.934924	
41	Point	P41	750000	9830000	-1.44643153	-78.75326942	2.79637	2.029211	1.802581	3.52778	3.399745	3.515403	4.86793	4.188889	4.022319	2.452589	1.989556	2.283266	2.934924	
42	Point	P42	760000	9730000	-2.44886887	-78.66288144	2.84424	2.463765	2.034597	3.003167	3.015833	3.923722	5.311237	4.505375	4.384458	2.954651	2.076792	2.47414	3.327985	
43	Point	P43	760000	9740000	-2.35820992	-78.66292345	2.84424	2.463765	2.034597	3.003167	3.015833	3.923722	5.311237	4.505375	4.384458	2.954651	2.076792	2.47414	3.327985	
44	Point	P44	760000	9750000	-2.26809894	-78.66298234	2.84424	2.463765	2.034597	3.003167	3.015833	3.923722	5.311237	4.505375	4.384458	2.954651	2.076792	2.47414	3.327985	
45	Point	P45	760000	9760000	-2.16959404	-78.66302408	2.821492	2.388414	2.079019	2.705236	3.811949	3.87762								

ANEXO D. INTERFAZ PARA APLICAR EL MÉTODO DE INTERPOLACIÓN KRIGING

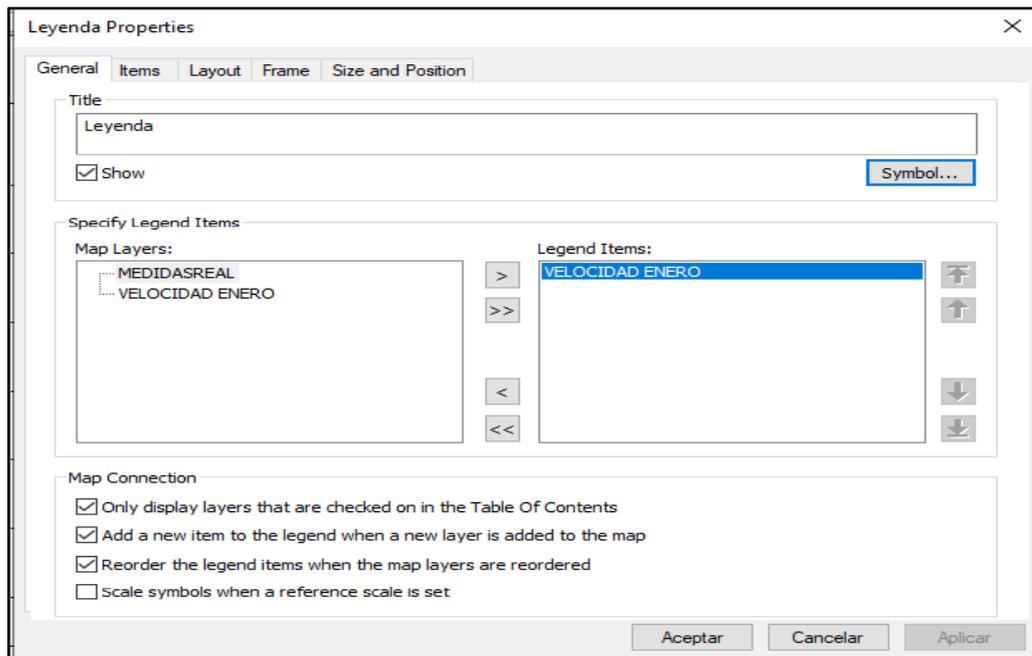




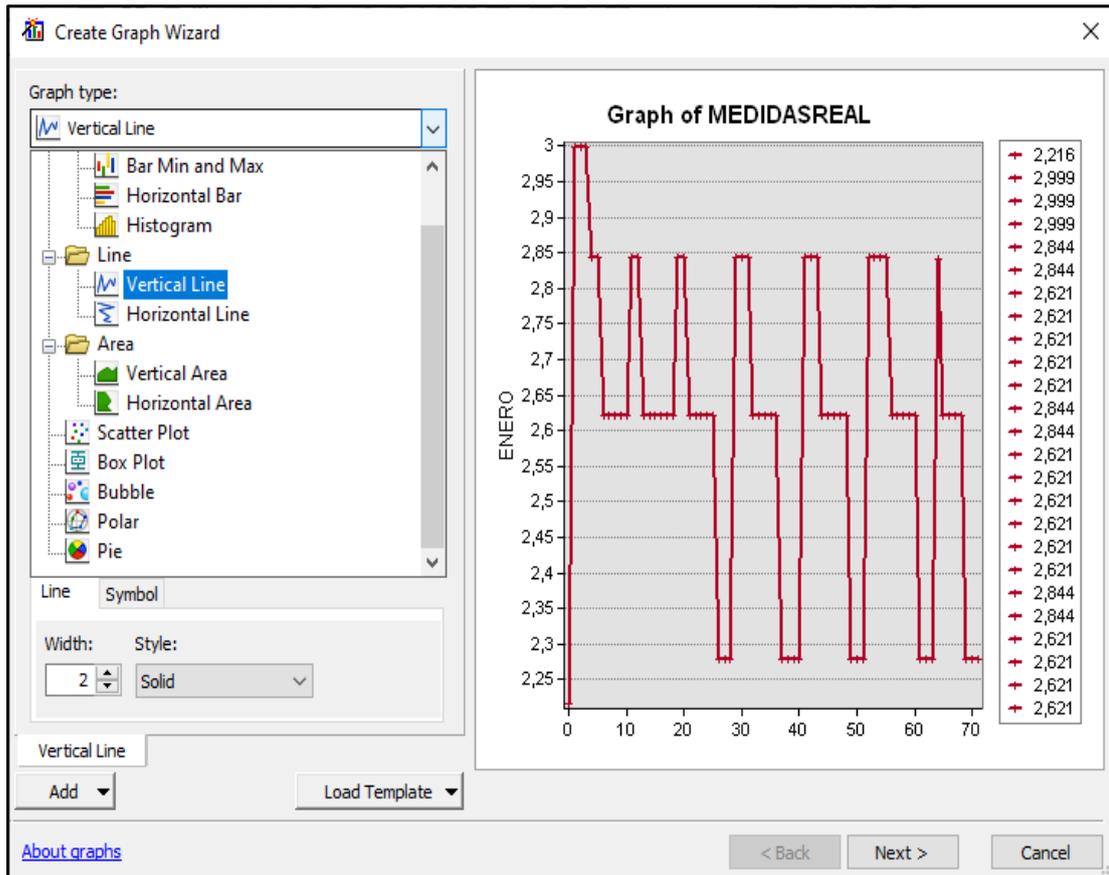
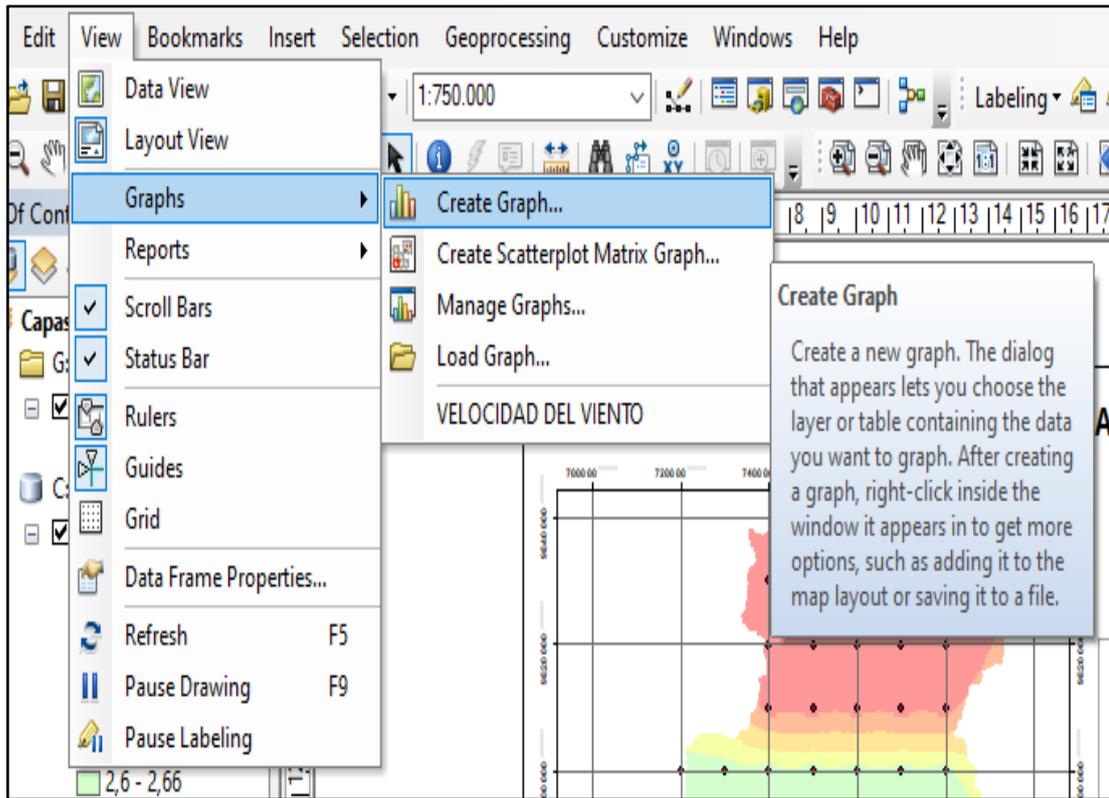
## ANEXO E. INTERFAZ PARA AÑADIR ESTILO DE COLORES



## ANEXO F. INTERFAZ GRÁFICA PARA INSERTAR UNA LEYENDA

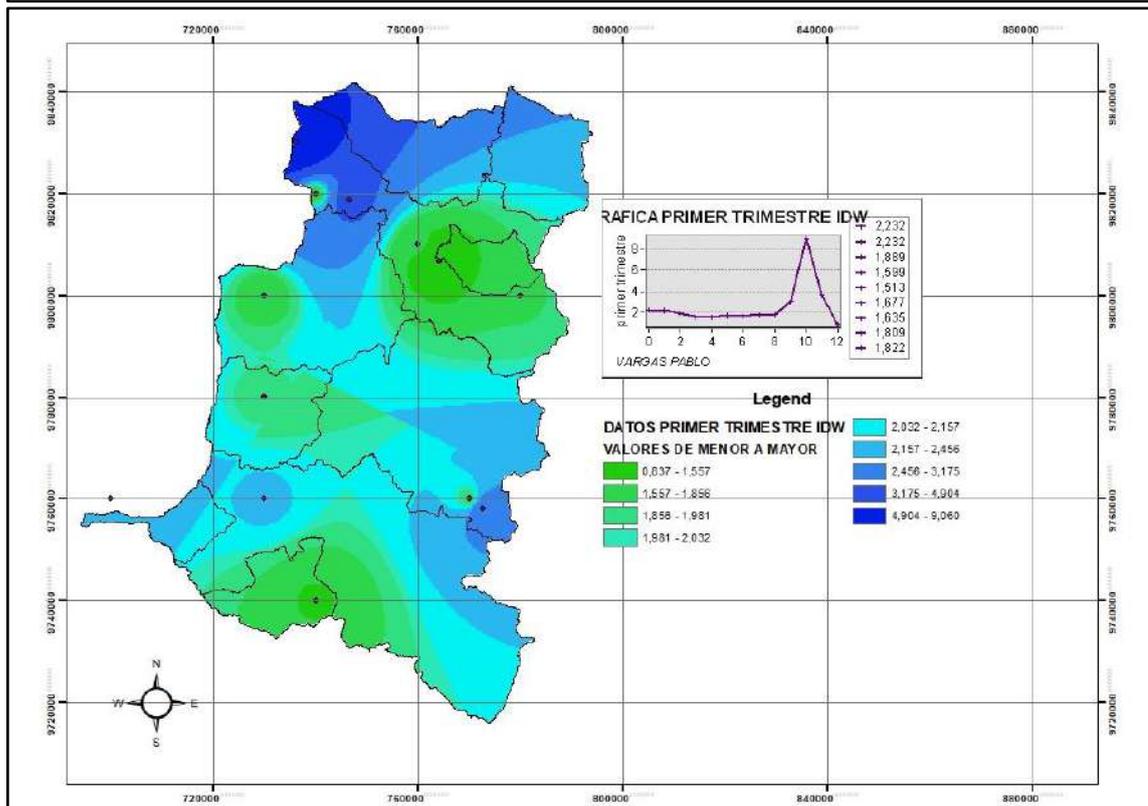
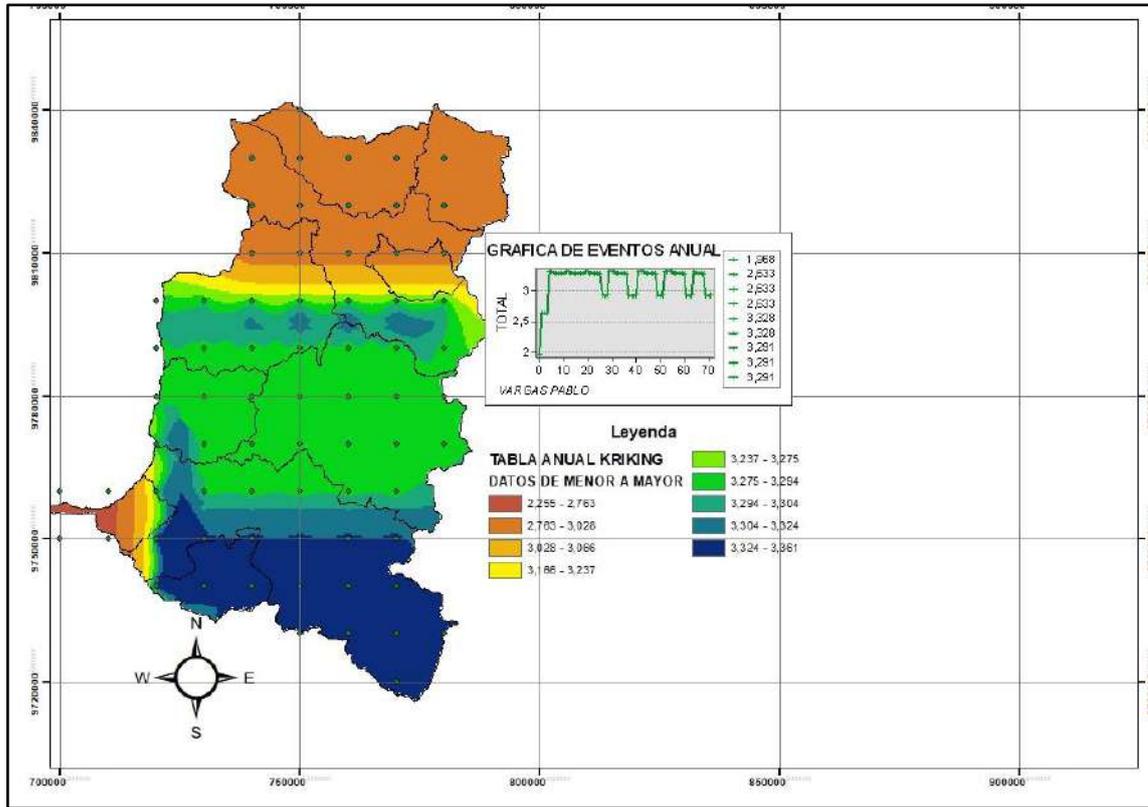


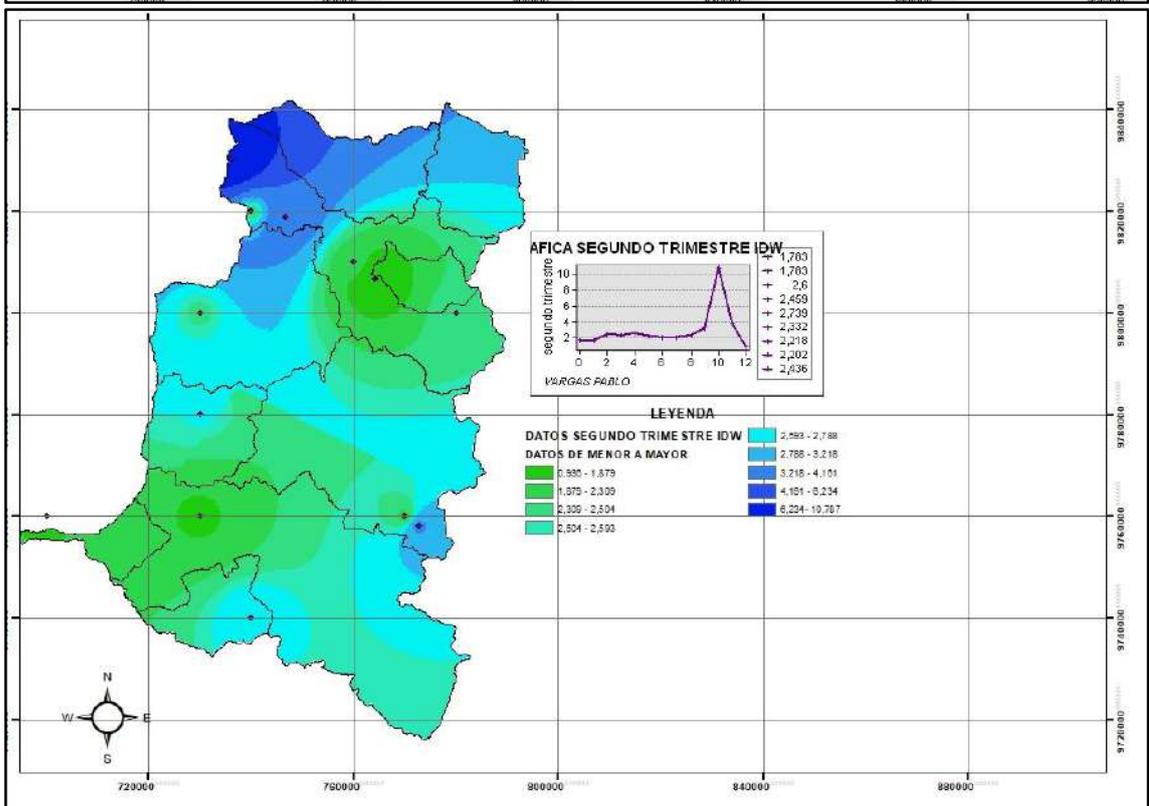
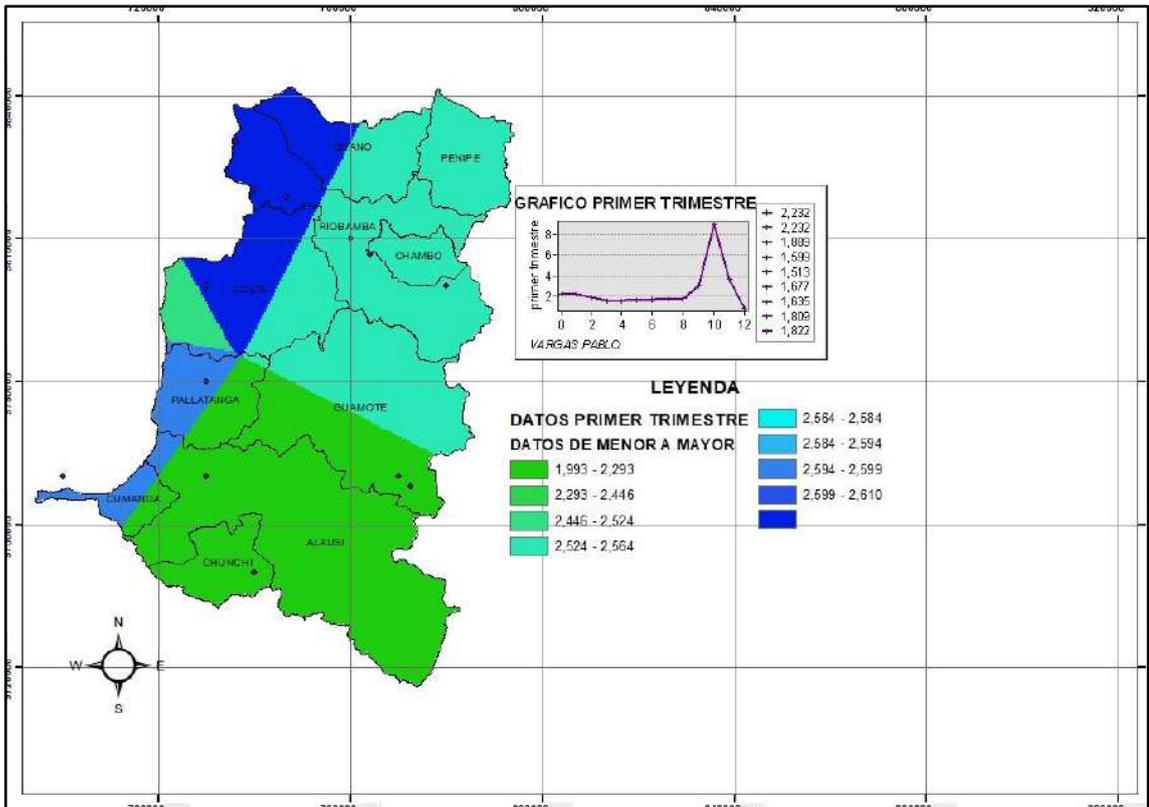
**ANEXO G. INTERFAZ PARA INSERTAR GRÁFICAS-HISTOGRAMAS**

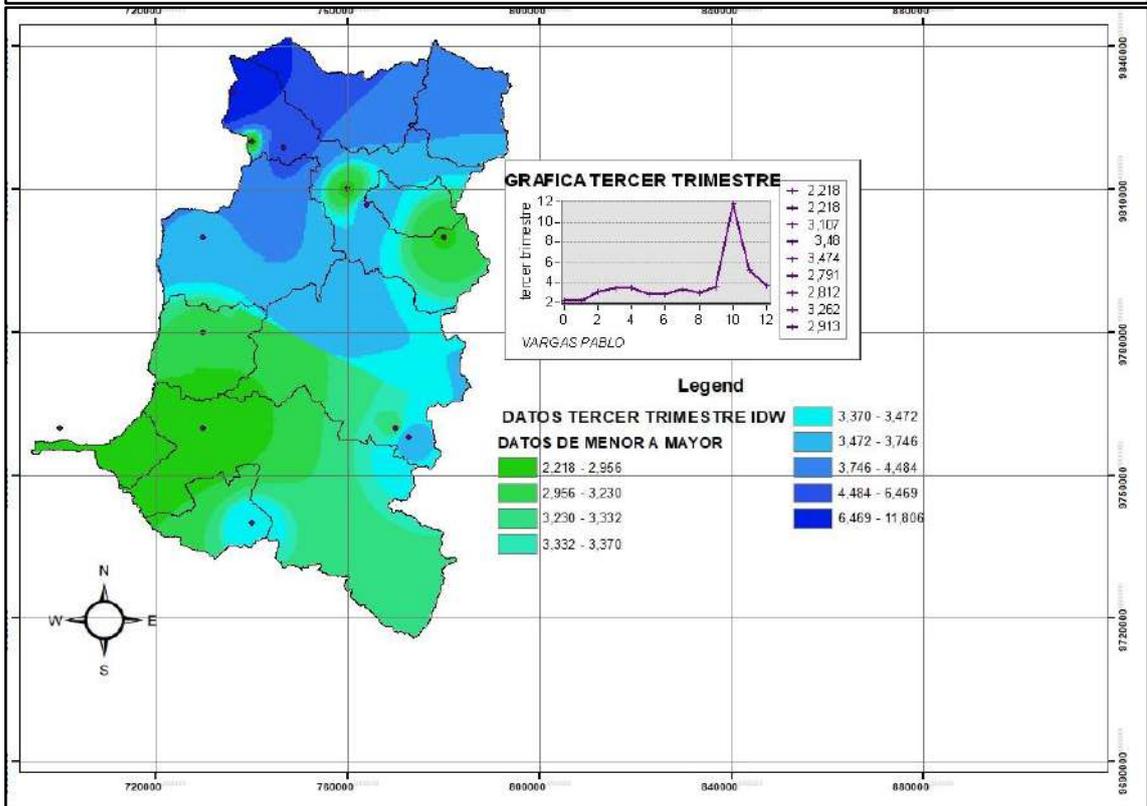
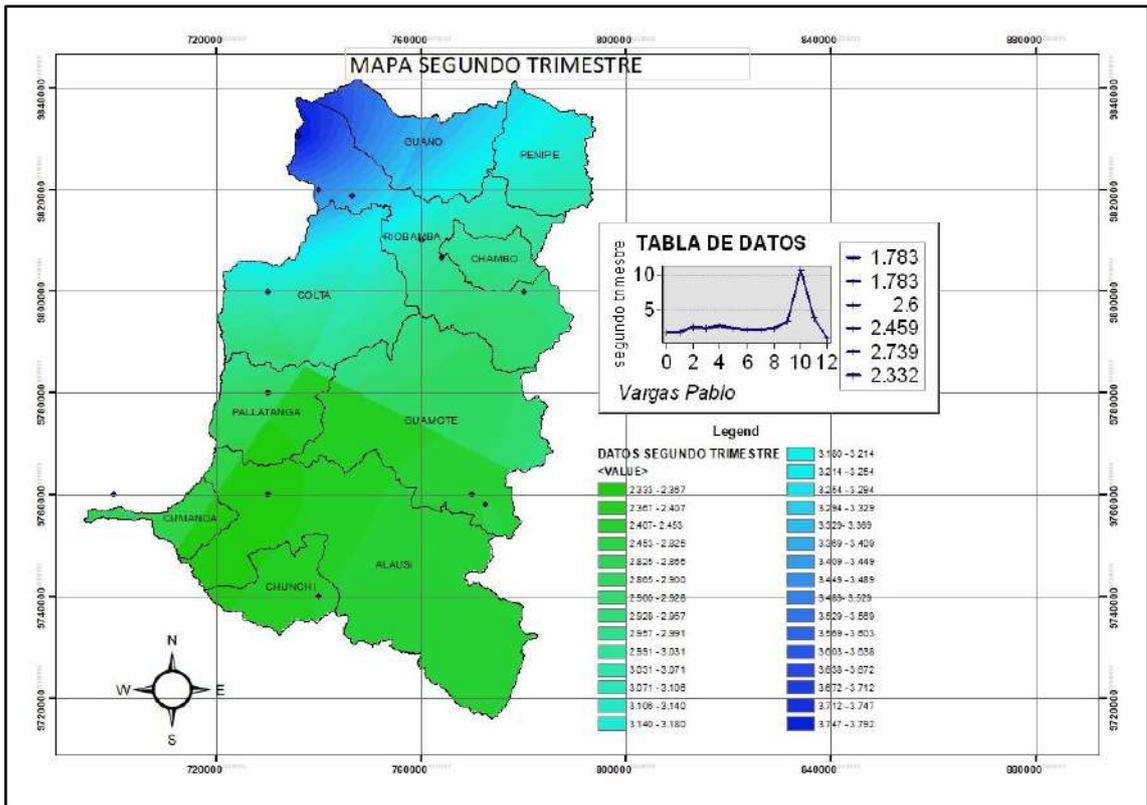


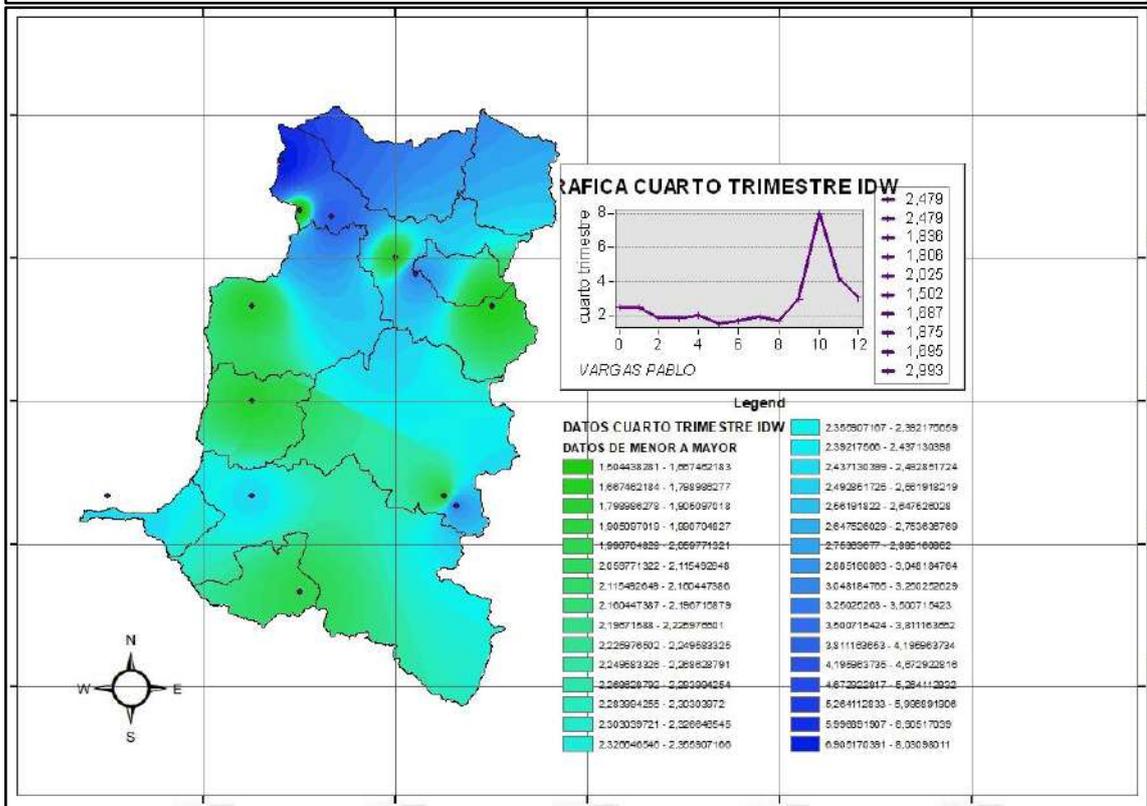
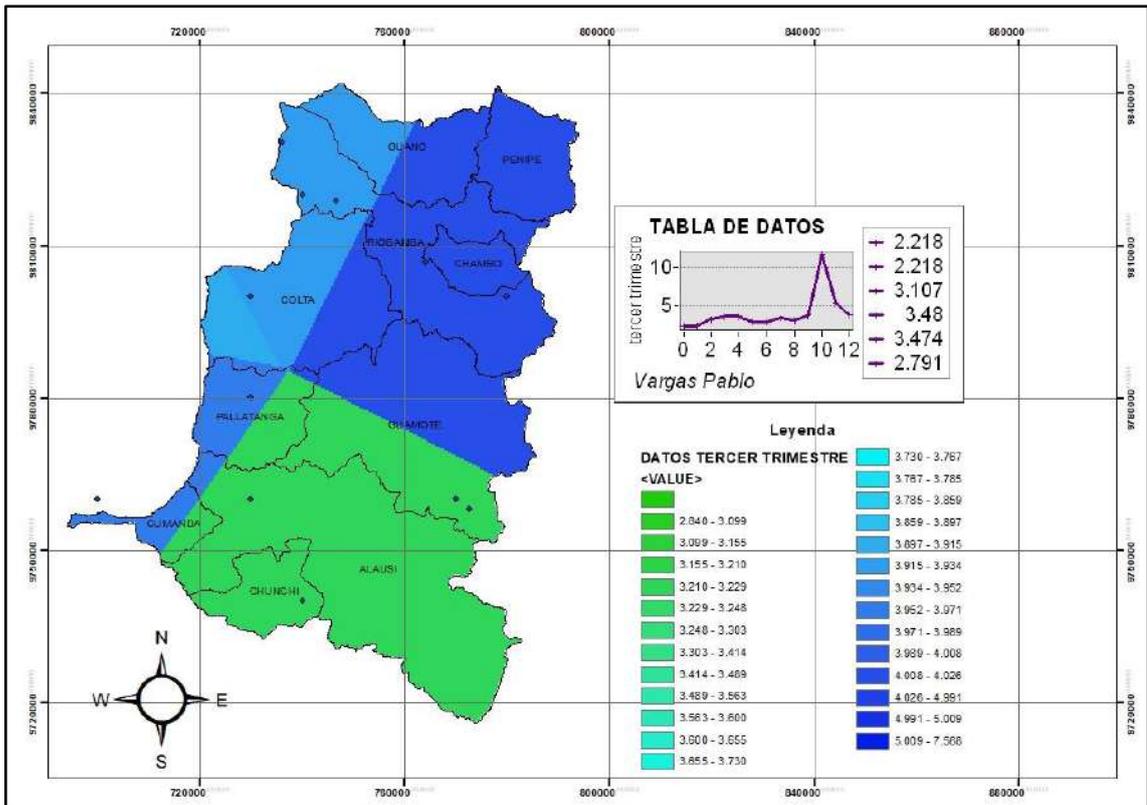
# ANEXO H. MAPAS DISEÑADOS

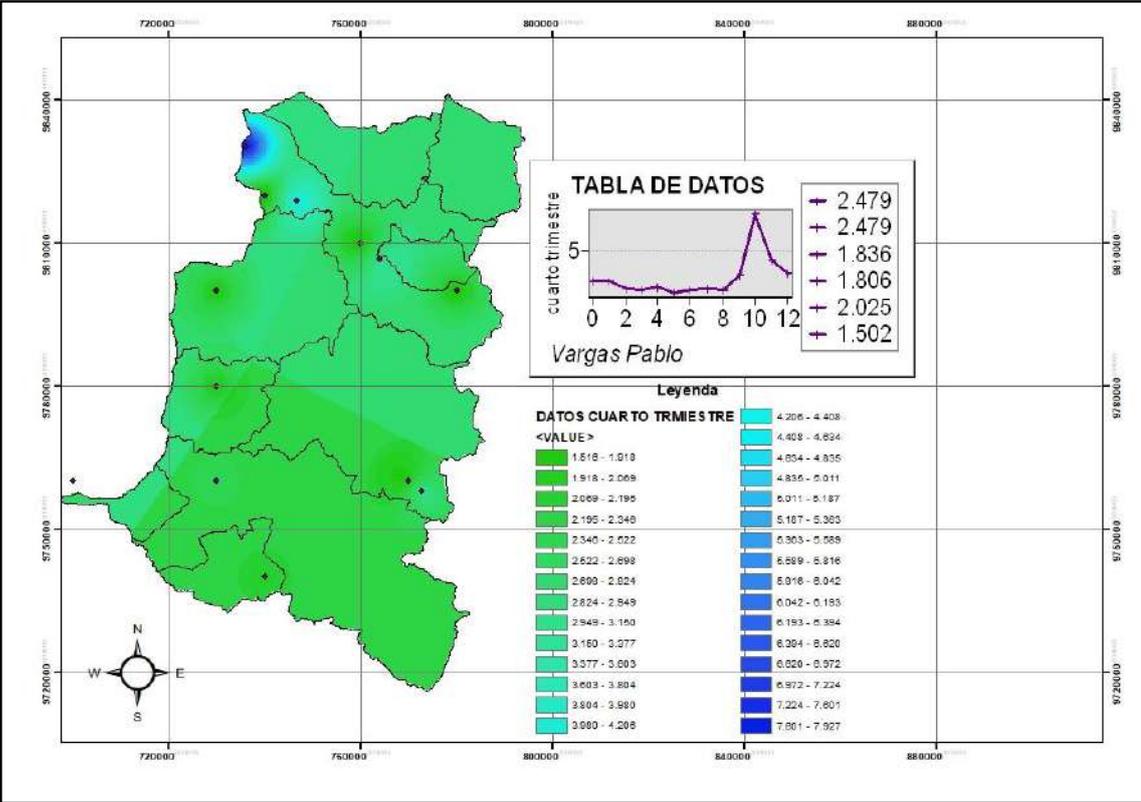
## MAPA CLIMATICO DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO.













**esPOCH**

**Dirección de Bibliotecas y  
Recursos del Aprendizaje**

*UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y  
DOCUMENTAL*

*REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA*

**Fecha de entrega:** 20 / 05 / 2022

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)</b>
<b>Nombres – Apellidos:</b> <i>Pablo Leonidas Vargas Chimbo</i>
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> <i>Ciencias</i>
<b>Carrera:</b> <i>Física</i>
<b>Título a optar:</b> <i>Físico</i>
<b>f. Analista de Biblioteca responsable:</b> <i>Ing. Leonardo Medina Ñuste MSc.</i>



0998-DBRA-UTP-2022