



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

**ESTUDIO DE LA MICRODINÁMICA ATMOSFÉRICA DE LAS  
ZONAS ALTOANDINAS DE LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar el grado académico de:

**FÍSICO**

**AUTOR:** CHRISTIAN XAVIER BARZALLO ROJAS

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

Riobamba – Ecuador

2023

© 2023, Christian Xavier Barzallo Rojas

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

Yo, CHRISTIAN XAVIER BARZALLO ROJAS 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 autora 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, 19 de mayo 2023



**Christian Xavier Barzallo Rojas**

**0603935800**

**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, **ESTUDIO DE LA MICRODINÁMICA ATMOSFÉRICA DE LAS ZONAS ALTOANDINAS DE LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO**, realizado por el señor: **CHRISTIAN XAVIER BARZALLO ROJAS**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científico, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

**FIRMA**

**FECHA**

Biof. María Fernanda Heredia Moyano MSc.

**PRESIDENTE DE TRIBUNAL**



2023-05-19

Dr. Arquímides Xavier Haro Velasteguí PhD.

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE  
INTEGRACIÓN CURRICULAR**



2023-05-19

Dr. Celso Guillermo Recalde Moreno PhD.

**ASESOR DEL TRABAJO DE  
INTEGRACIÓN CURRICULAR**



2023-05-19

## **DEDICATORIA**

Este trabajo se lo dedico principalmente a Dios, por su guía en este camino de aprendizaje y me ayudo a perseverar en todo el proceso. A mis padres Juan y Juana, quienes son de ejemplo en mi vida, con amor me enseñaron que todo es posible, me dieron su apoyo incondicional en todo momento y confiaron en mi completamente. A mi hermano menor Israel, quien me brindo de su alegría y quiero que este trabajo sea de inspiración para que pueda cumplir todos sus sueños y metas. A Jessica, quien es mi mejor compañía y muy importante en mi vida, fue mi inspiración en todo este proceso de estudios, me apoyo en todo momento y con su amor me motivo a seguir adelante.

Christian

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero agradecer a Dios por darme la sabiduría necesaria para completar mis estudios, por darme salud y ser de guía en mi vida.

A mis padres Juan y Juana quiero agradecerles profundamente por su enorme amor y sacrificio, me apoyaron en todo, con su amor pude afrontar cualquier dificultad y seguir adelante, siempre me animaron a ser mejor y me enseñaron a nunca rendirme, me dieron todo lo necesario para poder terminar este proceso de estudios, y me aconsejaron en todo momento. Quiero agradecer a Jessica, porque fue de gran ayuda en mi vida, me ayudo a cumplir todas mis metas, por ser mi luz en los momentos más difíciles, por creer en mí y siempre escucharme, por ser mi amor incondicional.

Finalmente quiero agradecer al Doctor Arquímides Haro y al Doctor Celso Recalde, quienes con paciencia y dedicación me guiaron para desarrollar este trabajo y también por sus enseñanzas a lo largo de mi vida estudiantil en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Christian

## INDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	x
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xi
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCCIÓN .....	1

### CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	2
1.1. Planteamiento del problema.....	2
1.2. Objetivos .....	2
1.2.1. <i>Objetivo general</i> .....	2
1.2.2. <i>Objetivos específicos</i> .....	2
1.3. Justificación .....	2
1.3.1. <i>Justificación teórica</i> .....	2
1.4. Hipótesis.....	3

### CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO .....	4
2.1. Antecedentes de investigación .....	4
2.2. Referencias teóricas.....	6
2.2.1. <i>Atmósfera</i> .....	6
2.2.1.1. <i>Estructura de la atmósfera</i> .....	7
2.2.2. <i>Radiación Solar</i> .....	7
2.2.2.1. <i>Ley de Wien</i> .....	8
2.2.2.2. <i>Ley de Kirchoff</i> .....	8

2.2.2.3. <i>Ley de Stephan Boltzmann</i> .....	8
2.2.2.4. <i>Espectro de la radiación solar</i> .....	8
2.2.3. <i>Presión atmosférica</i> .....	9
2.2.4. <i>Temperatura</i> .....	10
2.2.4.1. <i>Conducción</i> .....	10
2.2.4.2. <i>Convección</i> .....	11
2.2.4.3. <i>Radiación</i> .....	11
2.2.5. <i>Viento</i> .....	12
2.2.6. <i>Capa límite</i> .....	12
2.2.6.1. <i>Separación de la capa límite</i> .....	13
2.2.7. <i>Turbulencia</i> .....	14
2.2.8. <i>Numero de Reynolds</i> .....	14
2.2.9. <i>Dinámica atmosférica</i> .....	15
2.2.10. <i>Flujos térmicos</i> .....	16

### CAPÍTULO III

3. <b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	17
3.1. <b>Enfoque de investigación</b> .....	17
3.2. <b>Diseño de investigación</b> .....	17
3.2.1. <i>Diseño experimental</i> .....	17
3.2.2. <i>Localización de estudio</i> .....	17
3.2.3. <i>Población de estudio</i> .....	19
3.2.4. <i>Tamaño de muestra</i> .....	19
3.2.5. <i>Método de muestreo</i> .....	20
3.2.6. <i>Técnicas de recolección</i> .....	20
3.2.7. <i>Modelado matemático</i> .....	20
3.2.8. <i>Análisis estadístico</i> .....	24

### CAPÍTULO IV



<b>4.</b>	<b>ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS</b> .....	25
<b>4.1.</b>	<b>Resultados promedios de las variables y flujos térmicos</b> .....	25
<b>4.2.</b>	<b>Gráfica de los flujos térmicos</b> .....	27
<b>4.2.1.</b>	<i>Gráfica promedio de horas</i> .....	27
<b>4.2.2.</b>	<i>Gráfica promedio de meses</i> .....	31
<b>4.3.</b>	<b>Gráfica de la longitud de Obukhov y la velocidad de fricción</b> .....	33
<b>4.3.1.</b>	<i>Gráfica promedio de horas</i> .....	33
<b>4.3.2.</b>	<i>Gráfica promedio de días</i> .....	34
<b>4.3.3.</b>	<i>Gráfica promedio de meses</i> .....	36
<b>4.4.</b>	<b>Análisis estadístico</b> .....	37
<b>4.4.1.</b>	<i>Velocidad de fricción</i> .....	37
<b>4.4.2.</b>	<i>Longitud de Obukhov</i> .....	38
	<b>CONCLUSIONES</b> .....	40
	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	41
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	
	<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2-1:</b> Espectro de radiación solar, respecto a diferentes longitudes de onda.....	9
<b>Tabla 3-1:</b> Ubicación de las estaciones meteorológicas.....	20
<b>Tabla 4-1:</b> Promedio de las variables meteorológicas anuales de Atillo.....	25
<b>Tabla 4-2:</b> Promedio de los flujos térmicos anuales de Atillo .....	25
<b>Tabla 4-3:</b> Promedio de las variables meteorológicas anuales de San Juan.....	25
<b>Tabla 4-4:</b> Promedio de los flujos térmicos anuales de San Juan .....	26
<b>Tabla 4-5:</b> Promedio de las variables meteorológicas anuales de Tixan.....	26
<b>Tabla 4-6:</b> Promedio de los flujos térmicos anuales de Tixan .....	26
<b>Tabla 4-7:</b> ANOVA para la velocidad de fricción promedio por cada día .....	37
<b>Tabla 4-8:</b> ANOVA para la velocidad de fricción promedio por cada hora .....	38
<b>Tabla 4-9:</b> ANOVA para la velocidad de fricción promedio por cada mes .....	38
<b>Tabla 4-10:</b> ANOVA para la longitud de Obukhov promedio por día.....	38
<b>Tabla 4-11:</b> ANOVA para la longitud de Obukhov promedio por hora .....	39
<b>Tabla 4-12:</b> ANOVA para la longitud de Obukhov promedio por mes .....	39

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 2-1:</b>	Estructura de la atmósfera.....	7
<b>Ilustración 2-2:</b>	Distribución geográfica de los cinturones globales de presión.....	10
<b>Ilustración 2-3:</b>	Capa límite.....	13
<b>Ilustración 3-1:</b>	Carta topográfica de la provincia de Chimborazo .....	18
<b>Ilustración 3-2:</b>	Mapa físico de la provincia de Chimborazo .....	19
<b>Ilustración 3-3:</b>	Clasificación de la rugosidad.....	21
<b>Ilustración 4-1:</b>	Flujo de calor sensible promedio por cada hora .....	27
<b>Ilustración 4-2:</b>	Flujo de calor sensible promedio por cada hora .....	28
<b>Ilustración 4-3:</b>	Flujo de calor latente promedio por cada hora.....	28
<b>Ilustración 4-4:</b>	Flujo de radiación neta promedio por cada hora.....	29
<b>Ilustración 4-5:</b>	Flujo de calor del suelo promedio por cada día .....	29
<b>Ilustración 4-6:</b>	Flujo de calor sensible promedio por cada día.....	30
<b>Ilustración 4-7:</b>	Flujo de calor latente promedio por cada Día.....	30
<b>Ilustración 4-8:</b>	Flujo de radiación neta promedio por cada Día.....	31
<b>Ilustración 4-9:</b>	Flujo de calor del suelo promedio por cada mes.....	31
<b>Ilustración 4-10:</b>	Flujo de calor sensible promedio por cada mes .....	32
<b>Ilustración 4-11:</b>	Flujo de calor latente promedio por cada mes .....	32
<b>Ilustración 4-12:</b>	Flujo de radiación neta promedio por cada mes .....	33
<b>Ilustración 4-13:</b>	Velocidad de fricción promedio por cada hora.....	33
<b>Ilustración 4-14:</b>	Longitud de Obukhov promedio por cada hora .....	34
<b>Ilustración 4-15:</b>	Velocidad de fricción promedio por cada día .....	35
<b>Ilustración 4-16:</b>	Longitud de Obukhov promedio por cada día .....	35
<b>Ilustración 4-17:</b>	Velocidad de fricción promedio por cada mes.....	36
<b>Ilustración 4-18:</b>	Longitud de Obukhov promedio por cada mes.....	37

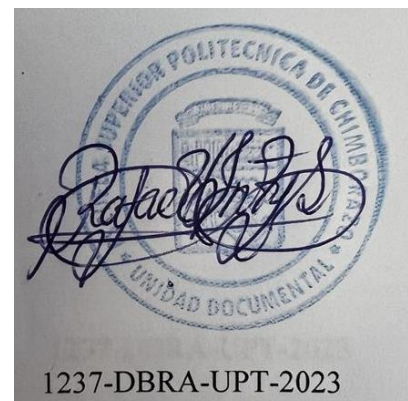
## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A: CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN QUE SE USÓ COMO REFERENCIA PARA REALIZAR LA ITERACIÓN DE DATOS**

## RESUMEN

En el estudio de las zonas altoandinas de Chimborazo se encontró que existe bastante irregularidad del terreno, por lo que, es difícil llegar a resultados exactos en el estudio de la dinámica atmosférica, también, no existen muchos estudios relacionados con el tema, esto provoca que se debe encontrar las constantes necesarias para las ecuaciones de los cálculos encontrados, por lo tanto, el objetivo del presente trabajo fue calcular los flujos térmicos y mecánicos, desarrollando un modelado matemático para esta zona usando la red de estaciones del Grupo de Energías Alternas y Ambiente (GEAA), la metodología implantada en este estudio fue de enfoque cuantitativo, se realizó un tratamiento de datos para poder obtener datos promedio por hora, día y mes, para el cual, se realizó un modelado matemático para calcular el flujo de calor latente, flujo de calor sensible, flujo de calor del suelo, velocidad de fricción y la longitud de OBUKHOV. Se realizó una iteración de las ecuaciones donde se obtuvo resultados bastante aproximados a los resultados reales. Mediante la metodología usada se determinó que la atmósfera es inestable y los datos no tienen similitud en las diferentes zonas que se realizó el estudio. Se concluye que las gráficas de estabilidad atmosférica son casi estables en las horas del día, desde las 6:00 hasta las 8:00 es casi neutro, pero de 17:00 a 18:00 es muy inestable, en horas de la noche se provoca una inversión térmica, la cual, se convierte en estable, en la estación de San Juan en el día es inestable, según la clasificación de Pasquill.

**Palabras clave:** <SIMILITUD DE OBUKHOV>, <VELOCIDAD DE FRICCIÓN>, <FLUJOS TÉRMICOS>, <RUGOSIDAD>, <RED DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS>.



## ABSTRACT

In the study of the high Andean zones of Chimborazo it was found that there is a lot of irregularity of the terrain, so it is difficult to reach accurate results in the study of atmospheric dynamics, also there are not many studies related to the subject, this causes that you must find the necessary constants for the equations of the calculations found therefore the objective of this work was to calculate the thermal and mechanical flows, developing a mathematical modelling for this area using the network of stations of the Group of Alternating Energies and Environment (GEAA), the methodology implemented in this study was of quantitative approach, a data treatment was performed to obtain average data per hour, day and month, for which a mathematical modelling was performed to calculate the latent heat flux, sensible heat flux, ground heat flux, friction velocity and OBUKHOV length. An iteration of the equations was carried out and the results obtained were very close to the real results. By means of the methodology used, it was determined that the atmosphere is unstable, and the data do not have similarities in the different areas where the study was carried out. It is concluded that the atmospheric stability graphs are almost stable during the day, from 6:00 to 8:00 it is almost neutral, but from 17:00 to 18:00 it is very unstable, at night there is a thermal inversion which becomes stable at the San Juan station; during the day it is unstable, according to Pasquil's classification.

**Keywords:** <OBUKHOV'S SIMILARITY>, <FRICTION SPEED>, <THERMAL FLOUDS>, <RUGOSITY>, <NETWORK OF METEOROLOGICAL STATIONS>.



Dra. Carmita Eulalia Rojas Castro. Mgs.

0602890469

1237-DBRA-UPT-2023

## INTRODUCCIÓN

La atmósfera se compone de una mezcla de gases ideales: mientras que el nitrógeno y el oxígeno moleculares dominan en volumen, los componentes secundarios como el dióxido de carbono, el vapor de agua y el ozono juegan un papel decisivo. La atmósfera está influenciada principalmente por el sol, aunque también son importantes las interacciones con la tierra y los océanos. Es constantemente bombardeada por fotones solares en las bandas infrarroja, visible y ultravioleta. Algunos de los fotones solares son dispersados por la atmósfera de vuelta al espacio por las nubes o la superficie de la Tierra; algunas partículas son absorbidas en la atmósfera o nubes que provocan el calentamiento; y algunos alcanzan la superficie de la Tierra y la calientan. Por efecto de este calentamiento se produce el viento, esto es gracias a la dinámica de tierra – atmosfera, por lo cual, el terreno es fundamental para caracterizar la dinámica atmosférica. Existen factores que van a modificar dichas características, como la altura, la humedad, la temperatura, la presión del terreno donde se está realizando el estudio.

En el presente trabajo se va a realizar un estudio dinámico de las zonas altoandinas de Chimborazo, en la cual, va a intervenir de forma puntual los flujos del aire y térmicos, que son fundamentales para el análisis de los diferentes procesos que se presenta la atmósfera, tales flujos nos ayudaran a revisar la estabilidad atmosférica y poder tomar datos para realizar predicciones con los patrones recogidos de los resultados en los meses que se realizar el estudio, también se realizará una revisión de la influencia sobre los flujos térmicos en la atmosfera, y se recogerá los datos de la red de estaciones meteorológicas del GEAA ESPOCH, gracias a estas estaciones automáticas se tiene una base de datos que recoge de los sensores ubicados en lugares estratégicos para el estudio del terreno donde se ubicó la estación meteorológica, en la cual, se podrá hacer un análisis de todos los datos recogidos y posteriormente una modelación matemática de los flujos atmosféricos característicos de las zonas altoandinas de Chimborazo.

## CAPITULO I

### 1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

#### 1.1. Planteamiento del problema

Cuando hablamos de las zonas altoandinas de Chimborazo estamos tratando con zonas de gran altitud respecto al nivel del mar. Debido a esta localización existe irregularidad en el terreno, esto hace que la dinámica por parte de los flujos térmicos sea difícil de calcular con exactitud, la atmosfera puede ser inestable, también, no existen muchos estudios a este tipo de terrenos donde la dinámica atmosférica sea lo más preciso posible, esto provoca que no se obtengan los datos suficientes para poder deducir ciertas constantes de rugosidad y estabilidad atmosférica

#### 1.2. Objetivos

##### 1.2.1. *Objetivo general*

- Estudiar la microdinámica atmosférica en las zonas altoandinas de la provincia de Chimborazo

##### 1.2.2. *Objetivos específicos*

- Realizar un análisis teórico sobre la dinámica atmosférica
- Modelar matemáticamente las ecuaciones que rigen los movimientos de los flujos atmosféricos
- Estudiar los flujos mecánicos y térmicos presente en la zona de interés, usando datos de la red de estaciones (GEEA)

#### 1.3. Justificación

##### 1.3.1. *Justificación teórica*

El viento es el conjunto de flujos de aire, de la cuál en este estudio, el origen del viento se debe a la diferencia de temperatura y presión que existe, esto pasa cuando el aire caliente de la zona ecuatorial viaja hacia los trópicos que tienen una temperatura más fría. En el momento en el que el aire alcanza las latitudes de 30 grados en los trópicos, se va a detener debido al movimiento de



la tierra, esto se da por el efecto Coriolis, lo cual, va a generar una diferencia de presión que aceleran el aire en la atmósfera, y va a descender hacia la superficie, dando lugar a la generación de los vientos. Todos los fenómenos naturales se dan en la troposfera, que tiene una extensión de 11 km. En las zonas altoandinas, los vientos son denominados locales y se producen por la diferencia de temperatura que existe en los valles.

Para este trabajo, se va a realizar el estudio de las masas de aire que están en la capa límite de la atmósfera. donde los efectos de fricción y los efectos térmicos de calentamiento y enfriamiento de la superficie dan lugar a considerables flujos que transportan momento, calor, humedad o materia. En donde se va a trabajar con datos obtenidos, por la red de estaciones del Grupo de Energías Alternas y Ambiente (GEAA – ESPOCH), en el cual, podemos encontrar datos mensuales como la precipitación, temperatura, presión humedad, etc.

El presente trabajo de titulación tendrá un beneficio a la provincia de Chimborazo, ya que, se obtendrá datos que nos ayudará a entender cuáles son las características de las masas de aire de las zonas de estudio, y esto nos brindará un acercamiento para obtener un estudio dinámico de los flujos atmosféricos.

#### **1.4. Hipótesis**

¿Qué impacto tiene el estudio de la dinámica de los flujos térmicos en diferentes localizaciones, usando los datos de la red de estaciones meteorológicas del GEAA ESPOCH?

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes de investigación

Existe una gran importancia en el estudio de los fluidos, en este caso, los vientos, porque son los causantes del transporte de sustancias, de la existencia de fenómenos naturales, la generación de desastres naturales, etc. En este documento, se va a realizar el estudio de los vientos presentes en las zonas altoandinas, en el cual, vamos a tomar de referencia la provincia de Chimborazo.

En esta zona encontramos dos redes hidrográficas que son de mucha relevancia. Podemos encontrar el río Chanchán, y por el lado sur de la provincia, podemos encontrar los ríos Chuncho, Guasuntos, Sibambe y Zula y todo se une al río Chimbo. Por otro lado, podemos encontrar el río Chambo, que circula toda la provincia, de Norte a Sur, ese río es formado por los ríos Guamote, Pulucate, San Juan y Sicalpa, y termina uniéndose al Patate donde nace el río Pastaza. Tiene una división de 10 Cantones que son: Alausí, Colta, Cumandá, Chambo, Chunchi, Guamote, Guano, Pallatanga, Penipe y Riobamba. Tiene diversos pisos ecológicos que van desde el páramo hasta la zona subtropical, en Cumanda dan lugar a climas que van desde el templado de los valles hasta el gélido de alta montaña, donde pasa por el frío de una altura de 3000 metros de altura. Además, tiene una temperatura media de 13 grados Celsius.

En el 2016 se hicieron estudios sobre campos eólicos, según ese artículo:

*“Se presenta el análisis del comportamiento de flujo de aire sobre una colina en la zona inferior de la capa límite atmosférica, empleando un software de propósito general de Dinámica de Fluidos Computacional (CFD). Mediante un análisis comparativo entre los resultados obtenidos en las simulaciones y los datos experimentales disponibles de colinas estandarizadas con diferentes topografías; se ha logrado validar convenientemente el procedimiento de simulación. A continuación; se simuló bidimensionalmente el flujo de aire sobre una loma real; se compararon los resultados numéricos con estudios científicos similares y de manera puntual con los datos de operación del parque eólico instalado en el sitio, logrando caracterizar con cierto grado de detalle el campo de velocidades y de energía cinética turbulenta a lo largo del dominio; además de obtener coincidencias cercanas en cuanto su magnitud con variaciones en el orden de 1 a 2 m/s para la velocidad horizontal media.”* (Reinoso Avecillas et al., 2016, pp. 6–9).

En el 2017 se realizó el siguiente estudio sobre “una alternativa para suplir dicha demanda consiste en la implementación de energías renovables. En Colombia, desde la aparición de la Ley 1715 se ha desarrollado una política de incentivos para la integración de nuevos proyectos en este tipo de energías. Por ello, es importante adelantar estudios con datos reales para que eventualmente puedan ser implementados. En este artículo se presenta el análisis del potencial de generación eólica de la sabana de Túquerres, ubicada en el departamento de Nariño, Colombia. El potencial se obtuvo a partir de la medición de la velocidad del viento entre los meses de junio y diciembre del año 2015. Los datos se analizaron estadísticamente según una medida de tendencia central, distribución de frecuencias y distribución de Weibull para la normalización de datos dispersos. Finalmente, se calculó la densidad de potencia a partir del modelo de una turbina eólica de eje horizontal y se simuló la curva de generación eléctrica de la zona. La velocidad de viento promedio de la zona es de 4,4 m/s y la densidad de potencia encontrada es igual a  $3,47 W/m^2$ ” (Eraso Checa & Escobar Rosero, 2018, pp. 19–31).

En la parametrización de datos meteorológicos existen trabajos que presentan los resultados obtenidos del análisis tradicional de los parámetros meteorológicos caóticos obtenidos en estaciones tropicales súper grandes en México (Veracruz), que se caracterizan por la alta frecuencia de radiación. El sol, así como el alto contenido de agua en la atmósfera, por lo tanto, afecta el transporte vertical del aire en la distribución de los niveles de contaminación, tanto en la superficie como en la parte superior. Este estudio se centra en dos preguntas: la primera es para observar el comportamiento de los parámetros meteorológicos principales y caóticos utilizados para describir la atmósfera y determinar el impacto de la radiación solar en ellos y la segunda comparar los parámetros de Zannetti entre la estabilidad en la atmósfera y el La atmósfera de estabilidad y la longitud de Monin-Obukhov con él se recibieron con él en este trabajo (López et al., 2000, pp. 603–605).

En la región del altiplano de Ecuador se hicieron varios estudios, en los cuales, uno de ellos se llegó a la conclusión de que, durante el día los flujos de calor sensible son mayores que los flujos de calor superficial y latente. debido a una fuerte disminución de la radiación solar debido a la ubicación geográfica y la elevación del área sobre el nivel del mar, lo que lleva a un comportamiento errático en el proceso horas del día Por la noche, el flujo de calor percibido disminuye bruscamente, provocando una inversión del gradiente de temperatura en la atmósfera, manifestado por un cambio en la estabilidad con predominio de un estado muy estable según la clasificación de Pasquille. La frecuencia de la estabilización mensual es generalmente constante durante todo el año, debido a la ubicación geográfica de la región (Velasteguí et al., 2018a, pp. 336–343).

En otro estudio se realizó un secador solar, en donde, se utiliza los flujos térmicos y la teoría del caos, el modelado es una técnica que representa un sistema, diagnostica su funcionamiento, ayuda a definir su comportamiento y controlar sus opciones, por eso se ha convertido en una herramienta muy útil e importante en el desarrollo de tecnología, ahorrando dinero, tiempo y mano de obra. A pesar de estas ventajas, existen sistemas que son extremadamente difíciles de modelar debido a su gran complejidad e imprevisibilidad temporal, especialmente aquellos que involucran condiciones ambientales como es el caso del secado solar, que depende de los cambios climáticos, aunque está diseñado para mejorar el trabajo. Se ha logrado un modelo de rendimiento, pero se ha hecho poco para mejorarlo, ya que se ha informado sobre el desarrollo de tecnologías o aplicaciones alternativas. En este marco, y para contribuir a la mejora de tecnologías de este tipo, que los países en desarrollo puedan adoptar fácilmente, permitiéndoles hacer un mejor uso de sus recursos naturales y conocimientos, sin grandes inversiones tecnológicas y con un alto grado de precisión, este trabajo propone el uso de la Teoría del Caos como base para el funcionamiento del modelo de secado solar bajo las condiciones de Sierra en Ecuador (Haro Velasteguí et al., 2017, pp. 336–343)

## **2.2. Referencias teóricas**

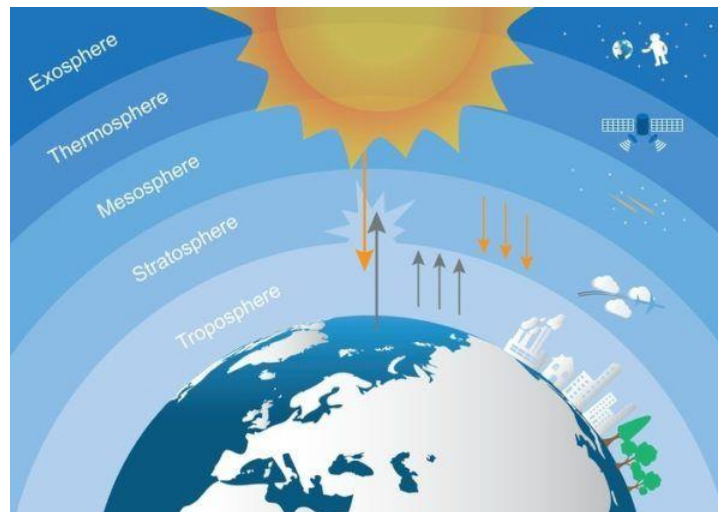
### **2.2.1. *Atmósfera***

La atmósfera de la Tierra es la capa inferior de aire habitada por la mayoría de los seres vivos. Es relativamente delgado, de unos 100 km de profundidad en comparación con los más de 12.700 km de diámetro de la Tierra. Si comparamos la Tierra con una gran manzana, la atmósfera será solo una capa de piel. Rodea al planeta en capas concéntricas de diferentes espesores y densidades y se compone principalmente de aire seco, agua y diversas partículas. El aire seco es una mezcla de gases como nitrógeno, oxígeno, argón, dióxido de carbono, hidrógeno, helio, criptón y xenón (Tejeda Martínez, 2018, pp. 19–54).

El nitrógeno y el oxígeno, que forman parte del aire del 99 °C, son gases transparentes que permiten que la luz del sol llegue a la superficie de la Tierra. El vapor de agua también es transparente a la radiación solar, pero cuando se condensa y se convierte en nubes, actúa como una capa de espejo que refleja tanto la radiación solar como la terrestre, transmitiendo también el propio vapor de agua la radiación hacia el suelo, es decir, provocando el efecto invernadero. Este efecto es fundamental para comprender el clima del planeta y el curso del cambio climático en la actualidad (Tejeda Martínez, 2018, p. 53).

### 2.2.1.1. Estructura de la atmósfera

La atmósfera se puede dividir en varias capas dependiendo de la variación de temperatura con la altitud. En la capa más cercana a la superficie, llamada troposfera, que se extiende hasta una altitud media de 12 km (hasta unos 19 km en las latitudes ecuatoriales y al menos 9 km en los polos), la temperatura desciende dos veces. 6,5 grados centígrados por kilómetro. En esta capa, donde se concentra el 80% de la masa total de la atmósfera, se producen los fenómenos meteorológicos más importantes. En el límite superior de la troposfera, llamado trópico, la temperatura deja de descender y llega a  $-55^{\circ}\text{C}$ . Por encima de la troposfera se encuentra la estratosfera, que se extiende hasta 45 km. Allí, la temperatura sube a medida que sube hasta un valor cercano a  $0^{\circ}\text{C}$  en el límite superior, conocido como temperatura de pausa. La concentración de masa atmosférica en la estratosfera superior y en las capas superiores es muy baja (el 99% de la masa es inferior a unos 30 km) por lo que la temperatura no es la misma que en la superficie del planeta. limpieza. En las capas superiores de la estratosfera, la temperatura disminuye con la altitud, dejando una capa llamada mesosfera, de unos 80 km de altura, en la atmósfera a unos  $-90^{\circ}\text{C}$ . Por encima de esto y en un grado desconocido, la temperatura aumenta de nuevo con la altura y forma una capa llamada termosfera (Camilloni & Vera, 2012, pp. 3–7).



**Ilustración 2-1:** Estructura de la atmósfera

Fuente: (Silvia, 2020)

### 2.2.2. Radiación solar

El sol es un productor de energía constante, ten en cuenta que cualquier objeto que emitirá energía radiante dependerá de su temperatura. La energía del sol es el resultado de la fusión nuclear, todo esto ocurre en su núcleo, lo que significa que muchos elementos con núcleos atómicos más

livianos se combinarán en un átomo más complejo. La energía se liberará en este proceso. Esta transferencia de energía se logra mediante ondas electromagnéticas que viajan en el vacío a una velocidad de unos 300 000 km/s (Sánchez Miño, 2003, pp. 21–28).

Llamaremos espectro de radiación a la suma de todas estas ondas electromagnéticas con un amplio rango de longitudes de onda. La intensidad radiante se define como la cantidad de energía transmitida a través de una superficie perpendicular a su órbita por unidad de tiempo. De manera similar, la intensidad total es la suma de la intensidad de cada longitud de onda que compone el espectro (Andrades & Múñez, 2012, pp. 19–24).

Podemos definir longitudes de onda e intensidades para cada temperatura con las siguientes leyes:

#### 2.2.2.1. Ley de Wien

El punto más alto que existe en la distribución de la longitud de onda se desplaza hasta las longitudes de ondas más cortas, todo va a depender que la temperatura aumente, esto quiere decir que para cada longitud de onda va a existir un máximo de emisión de energía (Serway & Jewett, 2008, pp. 587–586).

$$\lambda_{max}T = 2.898 \times 10^{-3}m K \quad (2.1)$$

#### 2.2.2.2. Ley de Kirchoff

“Para una longitud de onda determinada, son iguales la emitancia y la absorbancia de un material” (Andrades & Múñez, 2012, p. 23)

#### 2.2.2.3. Ley de Stephan Boltzmann

Nos dice que al poder emisivo correspondiente a un cuerpo negro será proporcional a la cuarta potencia de su temperatura.

$$E = A\epsilon\sigma T^4 \quad (1.2)$$

#### 2.2.2.4. Espectro de la radiación Solar

Desentendiendo de la longitud de onda, se va a dar los siguientes valores de espectro:

**Tabla 2-1:** Espectro de radiación solar, respecto a diferentes longitudes de onda

LONGITUD DE ONDA (nm)	RADIACIÓN
0.00005	Cósmica
1 – 15	$\gamma$
15 – 280	x
280 – 380	Ultravioleta (corta, media y larga)
380 – 440	Violeta
440 – 490	Azul
490 – 565	Verde
565 – 595	Amarillo
595 – 620	Anaranjado
620 – 700/760	Rojo
760 – 26000	Infrarrojo
>26000	Ondas de radio

Fuente: (Andrades & Múñez, 2012)

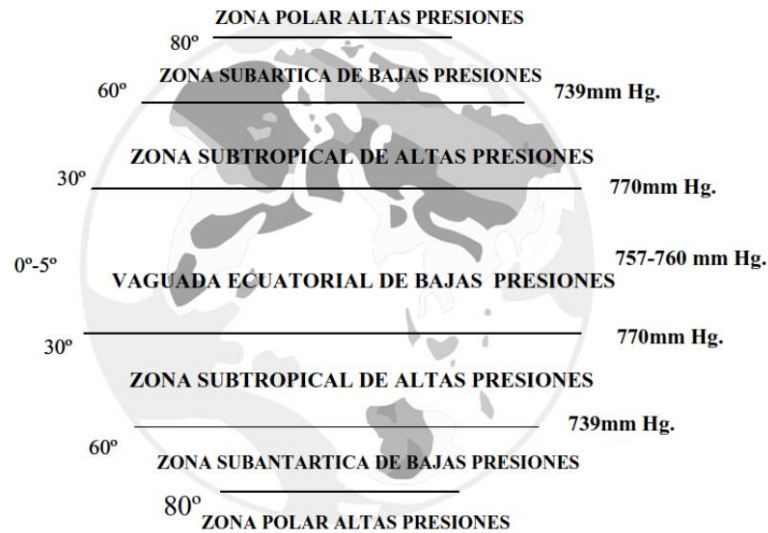
Realizado por: Barzallo, Christian, 2023.

La mayor cantidad de energía radiante del Sol se concentra en el rango de longitudes de onda del visible y visible cercano del espectro, con las siguientes proporciones: luz visible 43%, infrarrojo cercano 49%, ultravioleta 7%, y el 1% restante en otros rangos.

### 2.2.3. *Presión atmosférica*

Cuando hablamos de presión atmosférica sobre una superficie dada, es la fuerza que actúa por unidad de área bajo el peso de la atmósfera terrestre sobre ella. Entonces la presión atmosférica es equivalente al peso de la columna vertical de aire sobre la superficie de la Tierra que se extiende más allá de los límites de la atmósfera, lo que se puede decir que es como la presión dentro del agua, cuanto más profunda es. presión si nada. La presión atmosférica es más alta a altitudes más bajas y viceversa, esto se debe a que las capas superiores son menos densas y el aire es más limpio, por lo que la presión es menor a altitudes más altas.

La presión atmosférica tiende a fluctuar, los factores que causan la presión no son los mismos en todas partes son la temperatura y la humedad, otros factores como la altitud también tienen un efecto.



**Ilustración 2-2:** Distribución geográfica de los cinturones globales de presión

Fuente: (Andrades & Múñez, 2012)

#### 2.2.4. Temperatura

La temperatura es una magnitud física que caracteriza el movimiento aleatorio de las moléculas de un cuerpo, nos da a conocer la condición termodinámica de un cuerpo (Ahmad et al., 2017, pp. 13–48).

El calor es una forma de energía que puede convertirse mediante un proceso en trabajo mecánico, y la temperatura puede considerarse como el indicador de calor en un cuerpo.

Existen tres formas de transferencia de calor (Andrades & Múñez, 2012, p. 19).

##### 2.2.4.1. Conducción

La transferencia mediante conducción se puede dar de un cuerpo con partículas más energéticas a un cuerpo con partículas de menos energéticas, podemos decir, de un cuerpo más caliente a un cuerpo más frío, estas interacciones de partículas se puede dar en sólidos, líquidos o gases. La rapidez o razón de la conducción del calor se da mediante la ecuación (Çengel & Ghajar, 2011, pp. 17–28).

$$\dot{Q} = kA \frac{T_1 - T_2}{\Delta x} \quad (2.2)$$

Donde



$\dot{Q}$  = Razon de la transferencia del calor

$k$  = Conductividad térmica del material

$A$  = Área del material

$\Delta x$  = Espesor del material

#### 2.2.4.2. Convección

La convección se puede dar entre una superficie de un sólido y un fluido o gas, dentro de los fluidos se produce por la diferencia de densidades que existe. Aquí podemos ver una combinación entre la conducción y el movimiento de fluidos, cuanto más rápido se mueve el fluido, más rápido va a ser la transferencia del calor, cuando no existe ningún agente externo podemos decir que es una convección pura (Ahmad et al., 2017, p. 45).

En la atmosfera la mayor parte del calor que se gana por conducción y por radiación, es transportado a las diferentes capas atmosféricas por convección.

Por la ley de enfriamiento de Newton obtenemos:

$$\dot{Q} = h * A(T_A - T) \quad (2.3)$$

Donde

$h$  = Coeficiente de convección

$A$  = Superficie donde se entrega el calor

$T_A$  = Temperatura de la superficie

$T$  = Temperatura del Fluido

#### 2.2.4.3. Radiación

En este caso, no se necesita de un medio que intervenga en la emisión de esta energía, porque se hace por medio de ondas electromagnéticas, y la transferencia va a ser muy rápida, ya que depende de la velocidad de la luz. Esta es la energía que recibimos del sol. Todo cuerpo que tenga una temperatura mayor del cero absoluto emite radiación térmica.

La razón de la radiación se expresa por la ley de Stefan-Boltzmann, dada en la ecuación (2.2)

$$\dot{Q} = A\epsilon\sigma T^4 \quad (2.4)$$

Donde

*A = Superficie que emite el calor*

*$\epsilon$  = Emisividad de la superficie*

*$\sigma$  = Constante de Stefan – Boltzmann*

*T = Temperatura de la Superficie*

### **2.2.5. Viento**

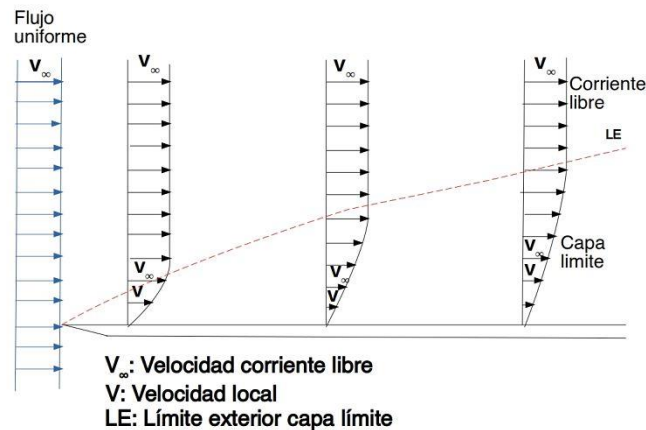
El viento constituye un factor meteorológico de gran importancia en los procesos de difusión de los contaminantes. Basta con observar las variaciones que experimenta un penacho de humo saliendo de una chimenea para comprender la importancia de este parámetro.

La dirección y el sentido nos indicarán la trayectoria a seguir por el contaminante mientras que el grado de dispersión dependerá fundamentalmente de la magnitud del viento, ya que se puede decir que cuanto mayor sea la magnitud mayor será la dispersión. Existen diferentes clases de vientos, y asimismo podemos encontrar diferencias apreciables entre los vientos que soplan en las capas altas de la atmósfera y los vientos que soplan en la zona de la troposfera más próxima a la superficie terrestre. Los vientos de las zonas altas de la troposfera se caracterizan por actuar a una velocidad constante en módulo y dirección, siguiendo líneas de flujo paralelas a las isobaras. En consecuencia, sus trayectorias son bastante uniformes, ya que son el resultado de los movimientos del aire de las zonas de alta presión y la acción de la fuerza de Coriolis que es una consecuencia del movimiento de rotación de la Tierra (Stull, 1988, pp. 2–26).

### **2.2.6. Capa límite**

Cuando los fluidos fluyen sobre las superficies, las moléculas cercanas a la superficie se detienen debido a la viscosidad del fluido. Las capas adyacentes también se ralentizan, pero de manera más lenta, y menor extensión. Esta desaceleración se encuentra limitada a una capa delgada cerca de la superficie. También, el fluido más allá de esta capa no se ve afectado por la presencia de la superficie. La capa fluida cerca la superficie en la que hay una desaceleración general se define como capa límite, la velocidad del flujo en esta capa aumenta desde cero en la superficie hasta la velocidad de la corriente libre en el borde de la capa límite. Cuando un fluido real pasa por un cuerpo o una pared sólidos, las partículas de fluido se adhieren al límite y se produce la condición

de no deslizamiento. Esto significa que la velocidad del fluido cerca del límite será el mismo que el del límite. Si el límite es estacionario, la velocidad del fluido en el límite será cero (Stull, 1988, pp. 499–592).



**Ilustración 2-3:** Capa Límite

Fuente: (Noguera, 2021)

En la ilustración, notamos que la capa límite aparece cuando el líquido fluye a través de algún objeto plano o el sólido entra en contacto con el líquido. Para ello se supone que el flujo del fluido debe ser uniforme, es decir, el líquido debe ser plano y paralelo al sólido con el que está en contacto. De esta forma, la acción de frenado se inicia desde el límite sólido hacia el interior del líquido.

### 2.2.6.1. Separación de la capa límite

La separación de la capa límite de un límite sólido es un fenómeno muy importante, cuya comprensión permite la interpretación y explotación de muchas situaciones de flujo de fluidos. La separación de la capa límite ocurre siempre que el cambio en la velocidad del fluido (amplitud y dirección) es demasiado grande para que el líquido se adhiera a la superficie sólida. La delaminación de los límites generalmente ocurre cuando hay un cambio repentino en la dirección o hay una obstrucción alrededor de la cual debe fluir el fluido. Cuando ocurre este fenómeno, se sufre una pérdida de energía considerable debido a la formación de ondas de estela, es por ello que es deseable (en la medida de lo posible) minimizar o evitar la separación de las ondas de estela. Esto se puede lograr en algunos casos por succión o por contorneado de sólidos para evitar la separación de la capa límite. Por otro lado, si se desea promover la transferencia de calor o mezclar líquidos, es deseable la separación de la capa límite, porque la formación de impulsores acelera la mezcla, lo que da como resultado altas tasas de transferencia de calor. volumen, y reduciendo así el tamaño del equipo utilizado (Stull, 1988, pp. 291–252).

### **2.2.7. Turbulencia**

El caos es difícil de describir, pero muy reconocible. Las propiedades en las que la mayoría de los científicos están de acuerdo son que tiene una forma tridimensional y es giratoria disipativa (lo que significa que convierte la energía cinética en calor) y no lineal. En particular como veremos el efecto de la perturbación no puede describirse mediante una ecuación diferencial. A diferencia de los movimientos que hemos estudiado hasta ahora los remolinos tienen escalas de longitud horizontal y vertical de la misma magnitud. Estas escalas de longitud pueden ser de  $10^{-3}m$  a  $10^3m$ . En la capa límite todas estas escalas tienen siempre una importancia esencial. Por lo tanto, la simplificación a través del análisis de razones no es posible. Por esta razón la investigación observacional y la interpretación teórica de las perturbaciones son difíciles. En 1920 el meteorólogo británico Lewis Fry Richardson propuso que la turbulencia era un proceso en el que la energía primaria contenida en los vórtices recia directamente energía cinética y luego la transmitía a lo largo de una "cascada" del tamaño de un vórtice a vórtices más pequeños para disiparla en forma de calor (Lynch & Cassano, 2006, pp. 167–181).

Para que un fenómeno físico ocurra de manera continua en el espacio y el tiempo no basta con demostrar leyes de conservación sino también con ser estables frente a pequeñas perturbaciones. Por lo tanto, el flujo laminar solo es estable con una pequeña perturbación cuando se cumplen ciertas condiciones. Por ejemplo, en el experimento de Reynolds la condición es que el número de Reynolds sea menor que un valor crítico. Cuando esto no sucede los trastornos idiopáticos se desarrollan espontáneamente. A veces estas perturbaciones pueden alcanzar cierta amplitud y alcanzar un nuevo estado; el nuevo estado puede en sí mismo ser inestable frente a un tipo diferente de perturbación y evolucionar hacia el nuevo estado; Eventualmente el flujo se superpone a muchos ruidos aleatorios y alcanza un estado llamado flujo turbulento. Esto explica la aparición de períodos en la recta numérica de Reynolds alta.

### **2.2.8. Numero de Reynolds**

Es un número adimensional utilizado en mecánica de fluidos y fenómenos de transporte para describir el movimiento de fluidos; Como todo número adimensional es un cociente una comparación. La importancia de esto radica en que nos hable del modo en que fluye el fluido lo cual es fundamental para su estudio.

Cuando el fluido fluye a través del tubo y su velocidad es baja, fluye en líneas paralelas a lo largo del eje del tubo; Este modo se llama flujo de depósito. A medida que la velocidad aumenta y

alcanza la llamada "velocidad crítica", el flujo se disipa hasta convertirse en remolino donde se forman corrientes cruzadas y corrientes de Foucault; Este modo se llama "flujo turbulento". La transición del modo en capas al modo caótico no ocurre instantáneamente, sino que tiene un comportamiento intermedio indefinido llamado modo transitorio (Jaramillo Díaz & Cárdenas Bañol, 2015, pp. 17–20).

Para comprender mejor lo que sucede, primero inyectaremos un chorro muy delgado de líquido coloreado (azul de metileno) en acrílico transparente. En un tubo de ensayo que contiene otro líquido incoloro, se puede observar un comportamiento diferente del líquido con un cambio de velocidad. Cuando el líquido está en el modo estratificado (baja velocidad), el azul de metileno aparece como una línea bien definida, cuando en la región de transición (velocidad media), el azul de metileno se difunde en la tubería y en condiciones ambientales turbulentas (alta velocidad), el azul de metileno se difunde por toda la fuente de agua (Jaramillo Díaz & Cárdenas Bañol, 2015, p. 21)

Los diferentes modos de flujo y la asignación de valores numéricos a cada uno fueron informados por primera vez por Osborne Reynolds en 1883. Reynolds observó que el tipo de flujo que obtiene un fluido que fluye dentro de una tubería depende de la velocidad del fluido el diámetro de la tubería y ciertas propiedades físicas del fluido. El número de Reynolds es por tanto un número adimensional relacionado con las propiedades físicas del fluido su velocidad y la forma del conducto por el que fluye y viene dado por:

$$Re = \frac{D * v * \rho}{\mu} \quad (2.5)$$

Donde

Re = Numero de Reynolds

D = Diámetro de la tubería

v = Velocidad del fluido

$\rho$  = Densidad del fluido

$\mu$  = viscosidad del fluido

### 2.2.9. Dinámica atmosférica

Las concentraciones de aire en la atmósfera son el resultado de un delicado equilibrio entre la energía ganada y perdida, y estas concentraciones varían con la altitud. Esto puede ser descrito por siete variables: presión específica, densidad, temperatura, humedad y vector de velocidad con

sus componentes. La dinámica de la atmósfera se divide en dos bases principales: la troposfera es el lugar y desarrollo de las masas de aire, en su parte inferior el aire no es uniforme debido a las fluctuaciones térmicas; el aumento y disminución de la humedad y la estabilidad, debido a la posición de la radiación solar y la presión que se ejerce sobre el globo conduce a la división de las masas gaseosas. También significa el estudio observacional y teórico de los sistemas de movimiento de importancia meteorológica, incluyendo diversas manifestaciones climáticas tales como: huracanes, ciclones, tormentas eléctricas, etc. En la investigación dinámica, el objetivo principal es comprender cómo se estudian los cúmulos, con base en los principios fundamentales de la física y los objetos del mundo real, lo que implica avances en el pronóstico del tiempo, el desarrollo de métodos y conocimientos de pronóstico a corto plazo. causado por el cambio climático. La hidrodinámica gobierna la dinámica de la atmósfera; para modelar el estado de la atmósfera, se genera resolviendo las ecuaciones de Navier-Stokes. En otras palabras, en hidrodinámica usamos ecuaciones no lineales, las soluciones de estas ecuaciones en un corto período de tiempo exhiben un comportamiento lineal, sin embargo, después de exceder el intervalo de tiempo, los términos no lineales aumentan, lo que lleva a un comportamiento más inestable en las soluciones (Santos Burguete, 2018, pp. 83–87).

#### **2.2.10. Flujos térmicos**

Los flujos térmicos se producen cuando una masa de aire pasa de un medio a otro donde sus aspectos fundamentales cambian según la temperatura y la humedad por el contacto del sistema aire-suelo. Aquí se producen flujos turbulentos de calor latente  $Q_L$ , calor sensible  $Q_H$  y cantidad de movimiento.

## CAPITULO III

### 3. MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1. Enfoque de investigación

La investigación presente se ha realizado de carácter cuantitativo, el objetivo que se estudia es conocer el tipo de dinámica atmosférica que presenta las zonas altoandinas de Chimborazo, con las variables atmosféricas que nos provee la red de estaciones meteorológicas del GEAA; debido a que el terreno que se está estudiando tienen gran variabilidad, y tienen diferente altitud se puede saber cómo es la dinámica de los flujos térmicos en las presentes zonas con el estudio de su capa límite, y se puede estudiar la estabilidad de la atmósfera

#### 3.2. Diseño de investigación

En la presente investigación se va a utilizar el método por conveniencia, en donde se van a recolectar los datos de la red de estaciones meteorológicas, con la obtención de los datos se puede analizar con los parámetros meteorológicos, se utilizará la longitud de Obukhov y también el modelo de Van Ulden y Hostlang, con el cual, se va a realizar un modelo matemático que nos proporcionará los resultados de la dinámica en estudio, con los datos que se obtengan se va a realizar un análisis de las variaciones que existen entre las distintas estaciones.

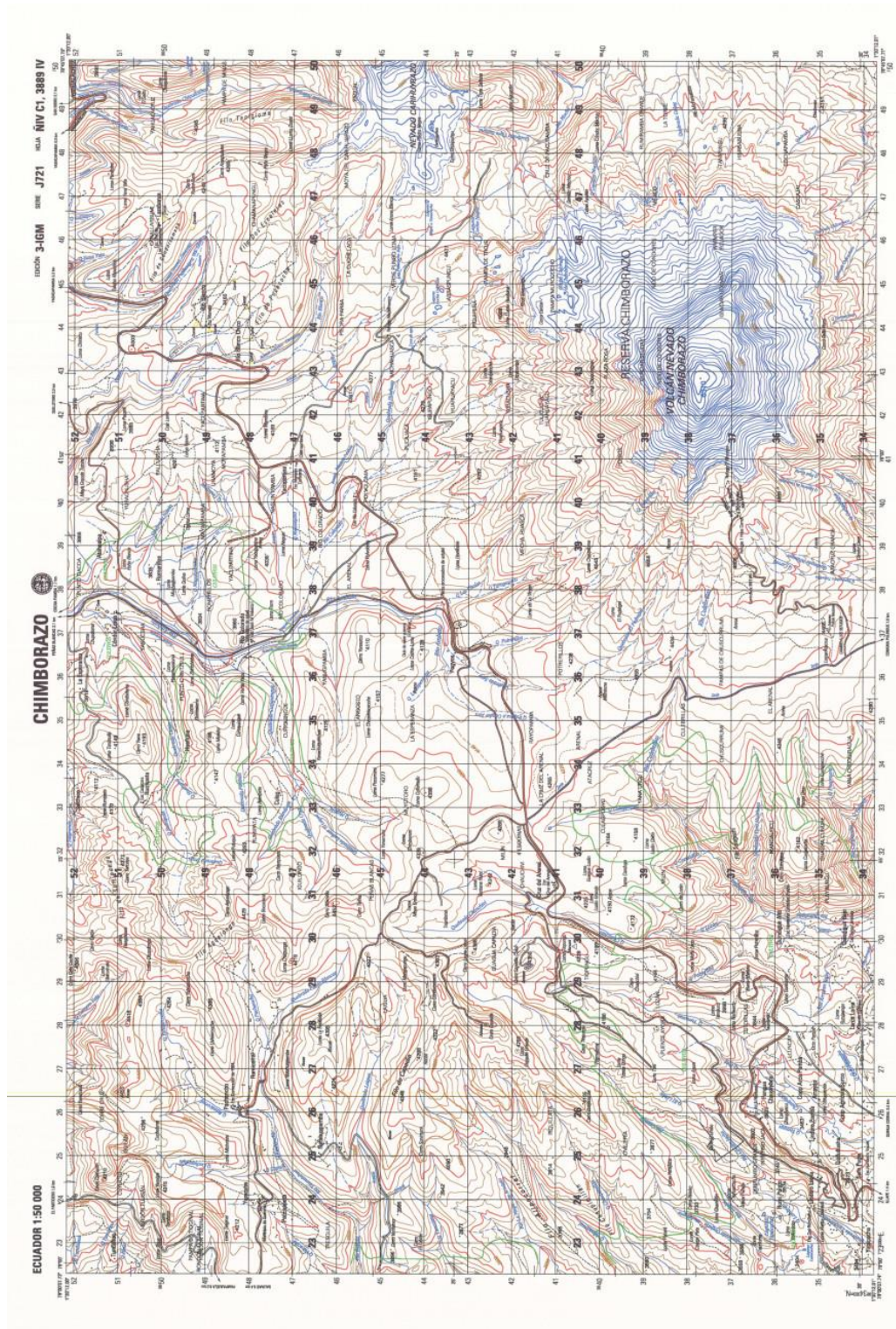
##### 3.2.1. *Diseño experimental*

La presente investigación es definida experimental por lo que se está usando datos de la red de estaciones meteorológicas del GEAA, es una red automática que cuenta con sensores que detectan las variables de humedad relativa, Radiación solar global, velocidad del viento, temperatura del suelo, sensación calórica, presión atmosférica y precipitación, se obtiene un banco de datos que, en esta investigación, será del año 2021.

##### 3.2.2. *Localización de estudio*

Todo el estudio se realiza en la provincia de Chimborazo, cada estación meteorológica del GEAA está ubicado en diferentes cantones de esta provincia

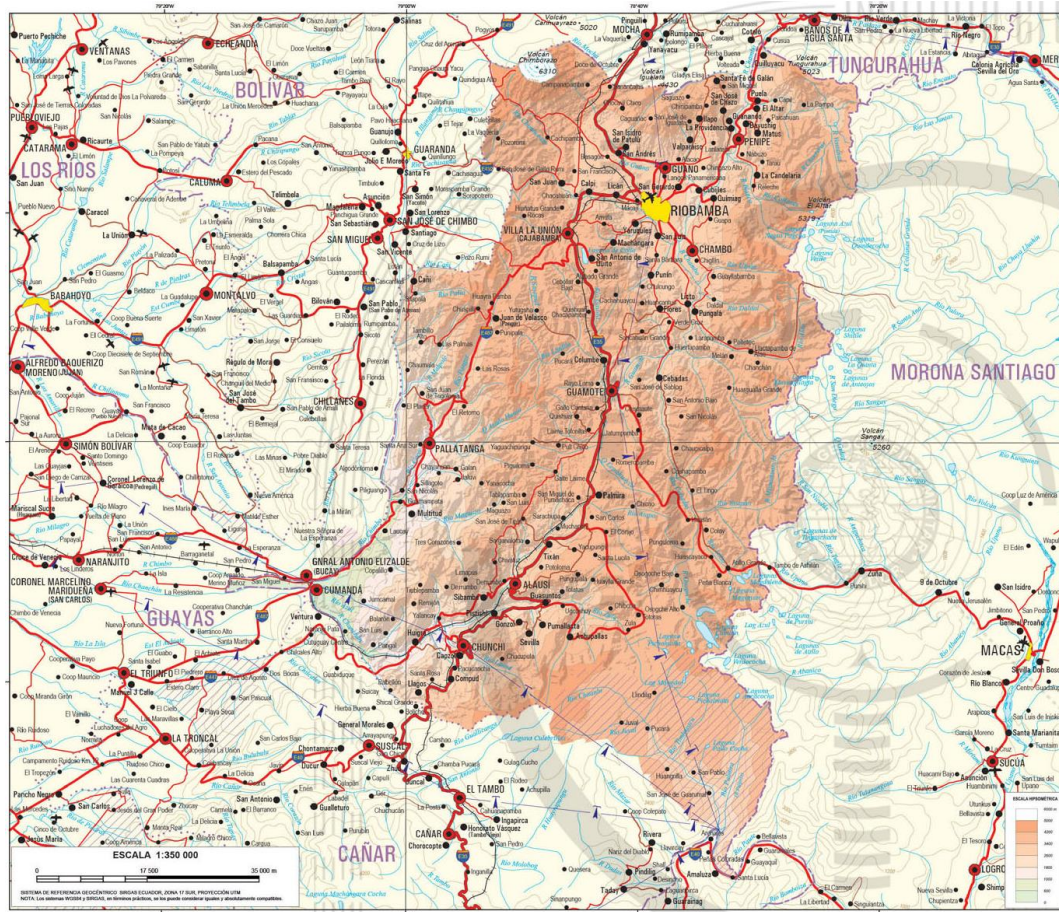




**Ilustración 3-1:** Carta topográfica de la provincia de Chimborazo

**Fuente:** (Instituto geográfico Militar, 2012)





**Ilustración 3-2:** Mapa físico de la provincia de Chimborazo

Fuente: (Instituto Geográfico Militar, 2012)

### 3.2.3. Población de estudio

Se realizará una recopilación de datos de las diferentes estaciones meteorológicas que están ubicados en Atillo, Tixan y San Juan; todas estas zonas pertenecen a la provincia de Chimborazo, los datos que serán analizados van a ser del año 2021 para las estaciones de San Juan y Tixan y 2020 para la estación de Atillo

### 3.2.4. Tamaño de muestra

Las estaciones meteorológicas nos brindan datos las 24 horas del día, cada dato es por hora, se va a recolectar los datos de cada mes para poder tener un promedio y analizar cada variación de datos, todo esto se realizará hasta finalizar los datos del año 2021. Los datos obtenidos serán de aproximadamente 8760 en el año, esto depende del funcionamiento de los sensores de cada estación meteorológica.

Se trabajará con las estaciones ubicadas en Atillo, San Juan y Tixan.

**Tabla 3-1:** Ubicación de las estaciones meteorológicas

Estación Meteorológica	Coordenada x	Coordenada y	Altitud (m)
Atillo	772610	9758048	3467
San Juan	746596	9818849	3232
Tixan	749103	9761332	3546

Fuente: (GEAA, 2022)

Realizado por: Barzallo, Christian, 2023

### 3.2.5. *Método de muestreo*

Se va a realizar un muestreo sistemático, el método de seleccionar una muestra de cada n-ésima unidad de la población, si las unidades de muestra están organizadas de alguna manera.

### 3.2.6. *Técnicas de recolección*

En la presente investigación se va a recoger las distintas variables meteorológicas que está recogiendo las estaciones meteorológicas en estudio, gracias al Grupo de Energías Alternativas y Ambiente que tienen el proyecto de Monitoreo de estaciones meteorológicas automáticas, los datos van a ser recogidos de la plataforma <https://ceaa.esPOCH.edu.ec/redEstaciones/>, donde se guardan todos los datos medidos por los sensores.

### 3.2.7. *Modelado matemático*

Para el modelado matemático de los flujos térmicos en las zonas altoandinas de Chimborazo utilizará las ecuaciones que rigen característica de cada flujo, en donde existen constantes definidas para cada zona, a continuación, se adjunta las constantes usadas en la altura de rugosidad.

Clases	Rugosidad Zo. m	Rasgos del paisaje
Sup. acuáticas	0.0002	Aguas abiertas (mar, lago, embalse, nieve sobre terreno plano, desiertos, concreto. Varios km sin obstáculos desde el sitio de medición del viento)
Suave	0.005	Superficie sin obstáculo notable y sin vegetación: playas, hielo, pantanos
Abierto	0.03	Terreno llano con gramíneas o muy poca vegetación. Obstáculos aislados con separación de al menos 50 veces la altura, h
Aprox. abierto	0.10	Área cultivada o natural con cobertura vegetal baja. Obstáculos ocasionales (edificaciones o árboles) con distancia de al menos 20 h el obstáculo
Rugoso	0.25	Área natural o cultivada con cultivos altos, obstáculos porosos escasos separados por 12h o 15 h, o con objetos sólidos, (edificaciones) distancia de 8 h a 12 h
Muy rugoso	0.5	Zona de cultivos intensos con obstáculos en grupos (granjas, bosque) etc., separados por 8 h: Plantaciones, frutales, bosques jóvenes, zonas urbanas de baja altura con separación de 3 a 4 edificaciones y sin árboles altos
Skimming	1.0	Zonas con obstáculos altos de altura similar y separación de igual distancia que la altura, como bosques adultos y zonas urbanas densas
Caótico	= 2.0	Centros de las ciudades con mezcla de edificaciones de alturas diversas, bosques de altura irregular con zonas deforestadas

### Ilustración 3-3: Clasificación de la rugosidad

Fuente: (Guevara Díaz, 2013)

Usando el Software Excel se programa las ecuaciones de cada flujo para poder obtener los resultados de cada estación.

Para los flujos de calor se utiliza un balance de energía, donde, va la variación de los datos va a ser influido de la vegetación del cada sector, y la atmosfera que lo rodea, la ecuación que se utilizará para el balance de energía es:

$$R_N = Q_H + Q_E + Q_G \quad (3.6)$$

$R_N$  = Radiación Neta

$Q_H$  = Flujo de calor Sensible

$Q_E$  = Flujo de calor Latente

$Q_G$  = Flujo de calor del Suelo

En esta ecuación se despreja la energía producida por la fotosíntesis y también la divergencia horizontal de calor latente y calor sensible (Velasteguí et al., 2018a, p. 336). En el caso de la Radiación Neta y el Flujo de Calor del Suelo se puede determinar por medición por medio de los sensores del pirómetro ubicado en la estación meteorológica, para el el flujo de Calor Sensible y el Flujo de calor latente se debe realizar un modelo matemático para poder obtener los resultados. “*El flujo de Calor Sensible es el calor que calienta el aire en el volumen elemental considerado y el*

*flujo de calor latente, es la energía que se emplea exclusivamente para producir evaporación.”*

(Velasteguí et al., 2018, p. 5).

El Flujo de calor del suelo parte del balance de energía, y se define por

$$Q_G = C_G * Q_N \quad (3.7)$$

Donde  $C_G$  es la relación de Bowen, el cual es el cociente entre el Flujo de Calor Sensible y el flujo de Calor Latente. Este valor se lo define como 0.1 en las zonas de que se está estudiando en este trabajo (Holtslag & Van Ulden, 1983, pp. 517–528).

La ecuación para el Flujo de Calor sensible y el Flujo de Calor Latente se define como:

$$Q_H = \left[ \frac{(1 - \alpha) + S}{1 + S} \right] * (R_N - Q_G) - \beta \quad (3.8)$$

$$Q_E = \left[ \frac{\alpha}{1 + S} \right] * (R_N - Q_G) + \beta \quad (3.9)$$

Donde  $\alpha$  es una constante igual a 1 y  $\beta$  es igual a  $20 \frac{W}{m^2}$ , el parámetro S se define por:

$$S = e^{0.055*(T-279)} \quad (3.10)$$

Donde T es la temperatura del aire.

Para este trabajo por la definición de las constantes se definió la ecuación de flujos térmicos como:

$$Q_H = \frac{S}{1 + S} * (R_N - Q_G) - 20 \quad (3.11)$$

$$Q_E = \frac{1}{1 + S} * (R_N - Q_G) + 20 \quad (3.12)$$

Después, ya con los resultados de los flujos térmicos, se procede a encontrar la longitud de OBUKHOV, aplicando la teoría de similitud de Monin-OBUKHOV se obtiene la ecuación de la velocidad de fricción:

$$u_* = kU_z \left[ \ln\left(\frac{z}{z_o}\right) - \Psi_M\left(\frac{z}{L}\right) + \Psi_M\left(\frac{z_o}{L}\right) \right]^{-1} \quad (3.13)$$

Donde k es la constante de Von Karman y tiene el valor de  $k = 0.41$ ,  $U_z$  es la altura de rugosidad, en este trabajo se utiliza el valor de 0.25, a una altura z.

La longitud de OBUKHOV se define por:

$$L = -\frac{\rho C_p T u_*^3}{kg Q_H} \quad (3.14)$$

T = Temperatura del aire

$\rho$  = Densidad del aire

$C_p$  = Calor específico del aire a presión constante

g = Constante de aceleración de gravedad

$Q_H$  = Flujo de calor Sensible

$u_*$  = Velocidad de fricción

k = Constante de Van Karman

Para la función de estabilidad  $\Psi_M$ , cuando  $L < 0$  (Inestable) se define por:

$$\Psi_M = 2 \ln\left(\frac{1+x}{2}\right) + \ln\left(\frac{1+x^2}{2}\right) - 2 \tan^{-1}(x) + \frac{\pi}{2} \quad (3.15)$$

Con las ecuaciones ya definidas anteriormente se puede encontrar la velocidad de fricción y la longitud de OBUKHOV por medio de una interacción tomándose de valor inicial  $\Psi_M = 0$  y  $L = \infty$  (Wyngaard, 1998), esto se hace hasta alcanzar una variación que es aproximadamente el 1% de dos valores sucesivos de L para resultados mayores de cero y menores de cero y con el mismo criterio, en el para el caso que  $L > 0$  (Estable), se define por:

$$\Psi_M = -5 \left(\frac{z}{L}\right) \quad (3.16)$$

Donde

$$x = \left(1 - 16 \frac{z}{L}\right)^{0.25} \quad (3.17)$$

Para encontrar la densidad y el calor específico del aire se debe hacer algunas correcciones basadas en la teoría de la termodinámica, por lo que la presión atmosférica, la temperatura y la humedad tiende a tener variaciones en las zonas altoandinas (Velasquí et al., 2018, p. 3),

El calor específico se define por:

$$C_p = 999.2 + 0.1434 T + 1.101 \times 10^{-4} T^2 - 6.7581 \times 10^{-8} T^3 \quad (3.18)$$

La densidad

$$\rho = \left(\frac{P}{P_0}\right) \frac{353.44}{T + 273.15} \quad (3.19)$$

Donde P es la presión atmosférica de la ubicación de la estación en mbar,  $P_0$  es la presión atmosférica en condiciones normales

### 3.2.8. *Análisis estadístico*

El análisis estadístico se lo realizará mediante la técnica de Análisis de Varianza (ANOVA), con el cual se podrá definir si los datos son similares o si existen variaciones.

## CAPITULO IV

### 4. ANALISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

En este capítulo se va a presentar los resultados que se obtuvieron mediante un proceso matemático, donde, el modelo matemático fue realizado en el software Excel. Los datos que se escogieron fueron del año 2021 en las estaciones de Tixan y San Juan, pero en la estación de Atillo fue del año 2020 por irregularidad de datos que se presentó al momento de descargar de la base de datos. De esta manera se van a presentar tablas de los promedios de los variables meteorológicas usadas en las ecuaciones matemáticas, se obtuvo, los flujos térmicos, la Longitud de OBUKHOV, y la velocidad de fricción.

#### 4.1. Resultados promedios de las variables y flujos térmicos

Estación de Atillo

**Tabla 4-1:** Promedio de las variables meteorológicas anuales de Atillo

Variable Meteorológicas Anuales (Atillo)			
Variable	Promedio	Máximo	Mínimo
Temperatura Ambiental	8,07	8,72	7,46
Humedad Relativa	89,95	92,39	86,35
Presión Atmosférica	676,18	676,39	675,97
Radiación Global	174,25	307,42	94,33
Velocidad del Viento	3,24	6,83	0,72

Fuente: (GEAA, 2022)

Realizado por: Barzallo, Christian, 2023

**Tabla 4-2:** Promedio de los flujos térmicos anuales de Atillo

Variable	Promedio	Máximo	Mínimo
Flujo de Calor Suelo	17,43	30,74	9,43
Flujo de Calor Latente	93,63	147,45	60,56
Flujo de Calor Sensible	63,20	129,24	24,33
Velocidad de Fricción	0,35	0,76	0,00
Longitud de Obukhov	-41,01	0,00	-207,03

Fuente: (GEAA, 2022)

Realizado por: Barzallo, Christian, 2023

Estación de San Juan

**Tabla 4-3:** Promedio de las variables meteorológicas anuales de San Juan

Variable Meteorológicas Anuales (San Juan)			
Variable	Promedio	Máximo	Mínimo
Temperatura Ambiental	10,46	10,96	10,02
Humedad Relativa	83,56	86,41	80,40
Presión Atmosférica	695,20	695,33	695,06
Radiación Global	165,78	271,17	109,41
Velocidad del Viento	2,04	4,14	0,67

Fuente: (GEAA,2022)

Realizado por: Barzallo, Christian, 2023

**Tabla 4-4:** Promedio de los flujos térmicos anuales de San Juan

Variable	Promedio	Máximo	Mínimo
Flujo de Calor Suelo	16,58	27,12	10,94
Flujo de Calor Latente	85,20	125,00	63,61
Flujo de Calor Sensible	64,00	119,06	34,86
Velocidad de Fricción	0,14	0,45	0,00
Longitud de Obukhov	-2,75	0,00	-47,88

Fuente: (GEAA, 2022)

Realizado por: Barzallo C, 2023

Estación de Tixan

**Tabla 4-5:** Promedio de las variables meteorológicas anuales de Tixan

Variable Meteorológicas Anuales (Tixan)			
Variable	Promedio	Máximo	Mínimo
Temperatura Ambiental	8,21	8,76	7,70
Humedad Relativa	85,25	87,96	82,31
Presión Atmosférica	668,67	668,81	668,53
Radiación Global	190,35	298,65	122,13
Velocidad del Viento	3,12	5,52	1,38

Fuente: (GEAA, 2022)

Realizado por: Barzallo C, 2023

**Tabla 4-6:** Promedio de los flujos térmicos anuales de Tixan

Variable	Promedio	Máximo	Mínimo
Flujo de Calor Suelo	19,03	29,87	12,21
Flujo de Calor Latente	100,11	143,67	72,16
Flujo de Calor Sensible	71,20	125,12	37,75
Velocidad de Fricción	0,33	0,61	0,03
Longitud de Obukhov	-30,37	-0,03	-110,05

Fuente: (GEAA, 2022)

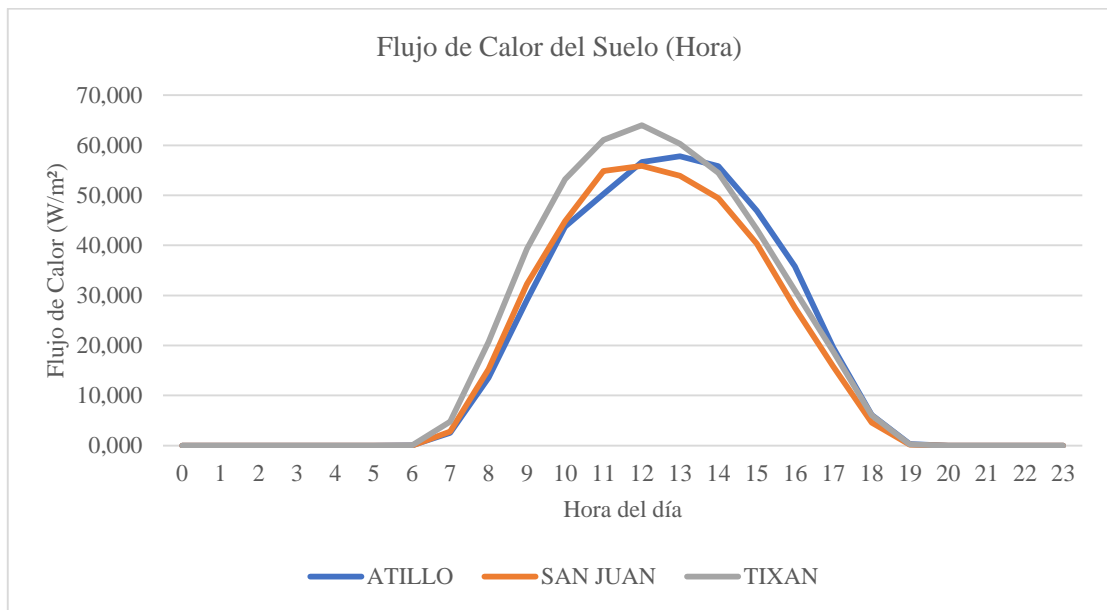
Realizado por: Barzallo, Christian, 2023



## 4.2. Gráfica de los flujos térmicos

### 4.2.1. Gráfica promedio de horas

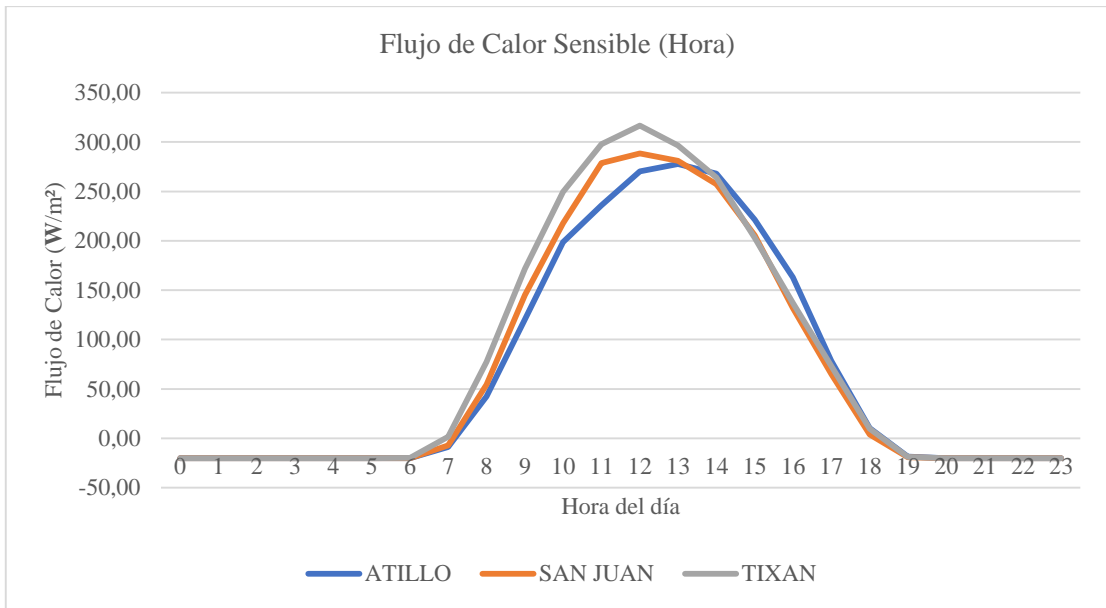
Donde las horas corresponde a las horas de día



**Ilustración 4-1:** Flujo de calor sensible promedio por cada hora

Fuente: (GEAA, 2022)

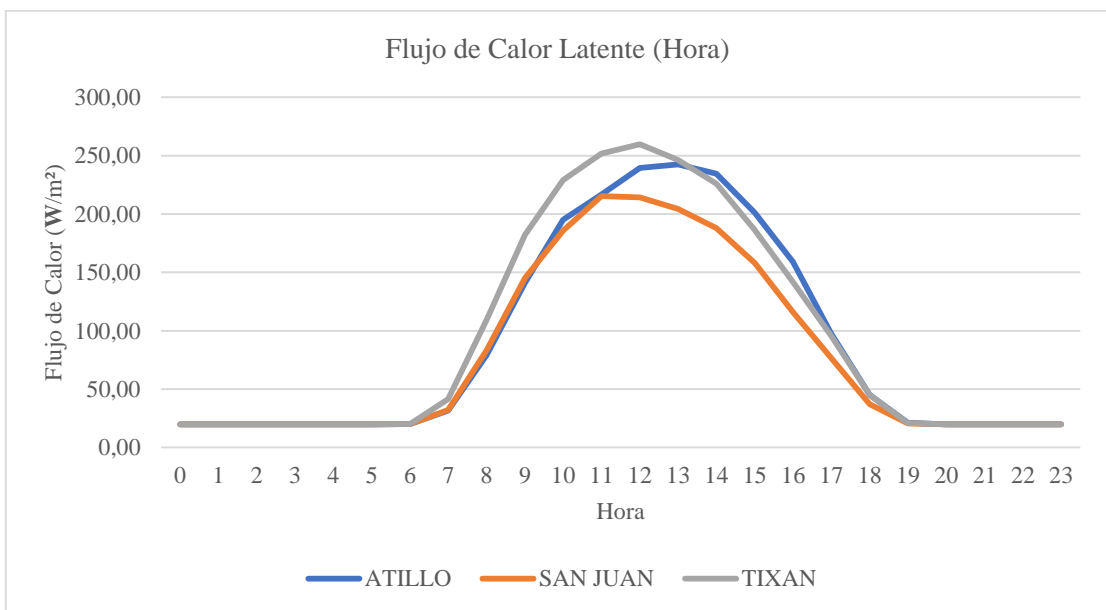
Realizado por: Barzallo, Christian, 2023



**Ilustración 4-2:** Flujo de calor sensible promedio por cada hora

Fuente: (GEAA, 2022)

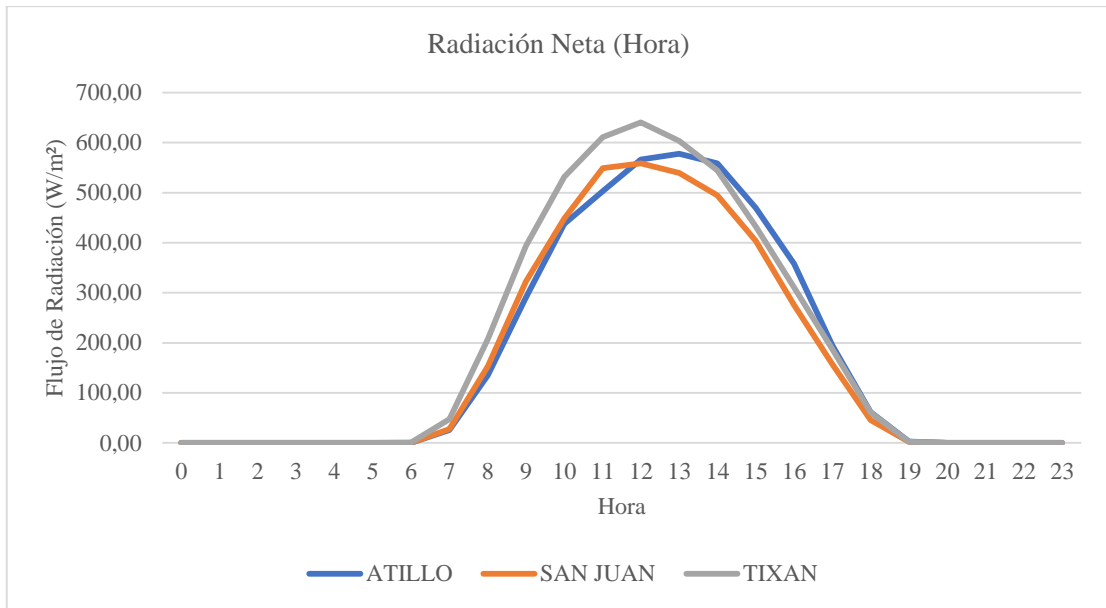
Realizado por: Barzallo, Christian, 2023



**Ilustración 4-3:** Flujo de calor latente promedio por cada hora

Fuente: (GEAA, 2022)

Realizado por: Barzallo, Christian, 2023



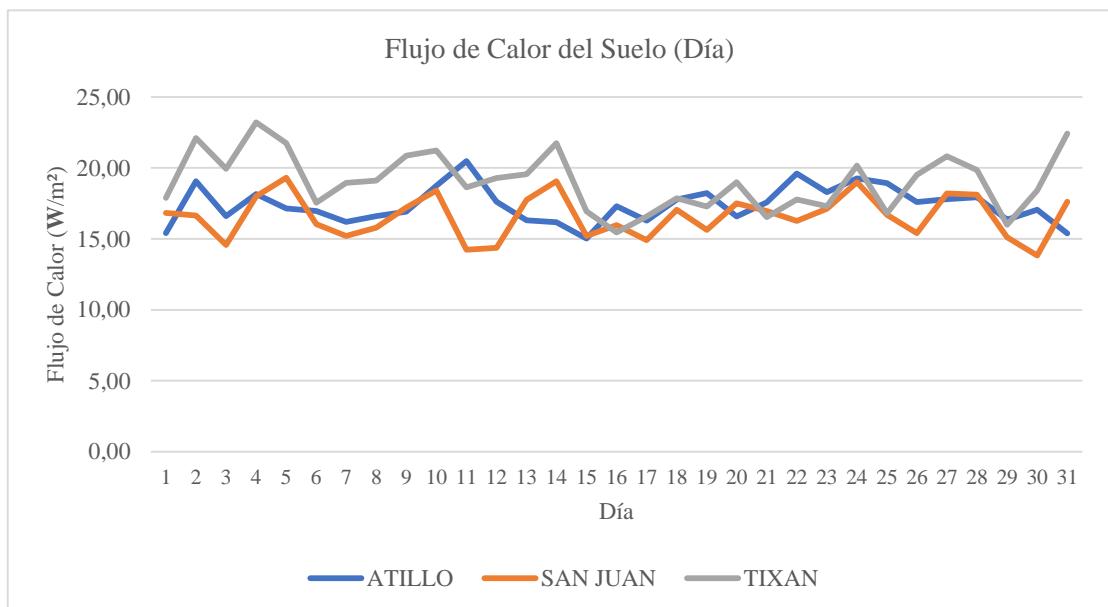
**Ilustración 4-4:** Flujo de radiación neta promedio por cada hora

Fuente: (GEAA, 2022)

Realizado por: Barzallo, Christian, 2023

Gráficas promedio por días

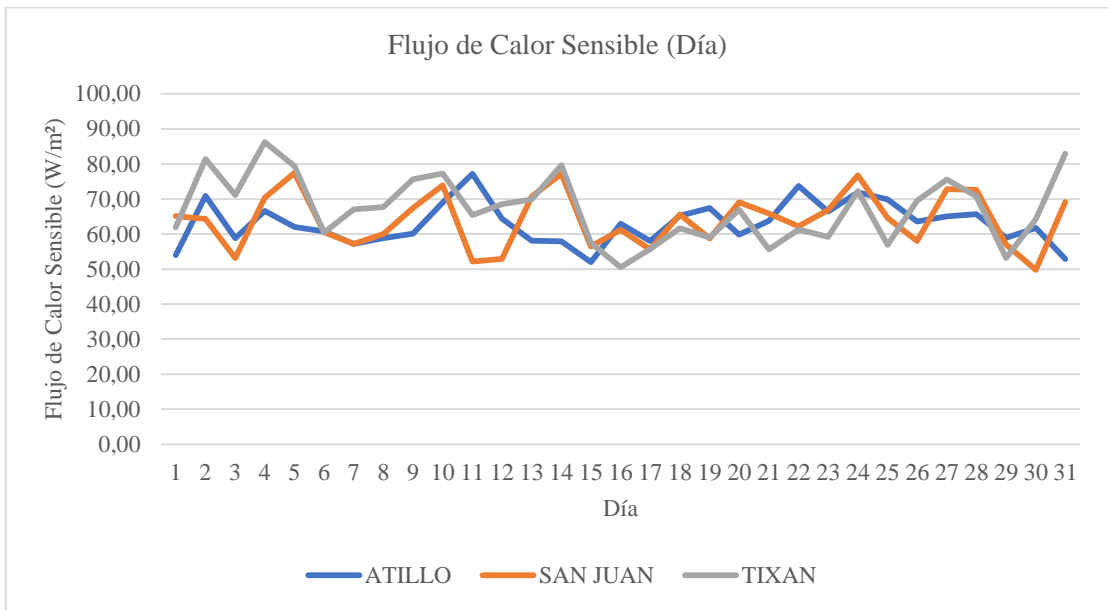
Los días corresponde a los días de un mes, el promedio es de 31 días del mes.



**Ilustración 4-5:** Flujo de calor del Suelo promedio por cada día

Fuente: (GEAA, 2022)

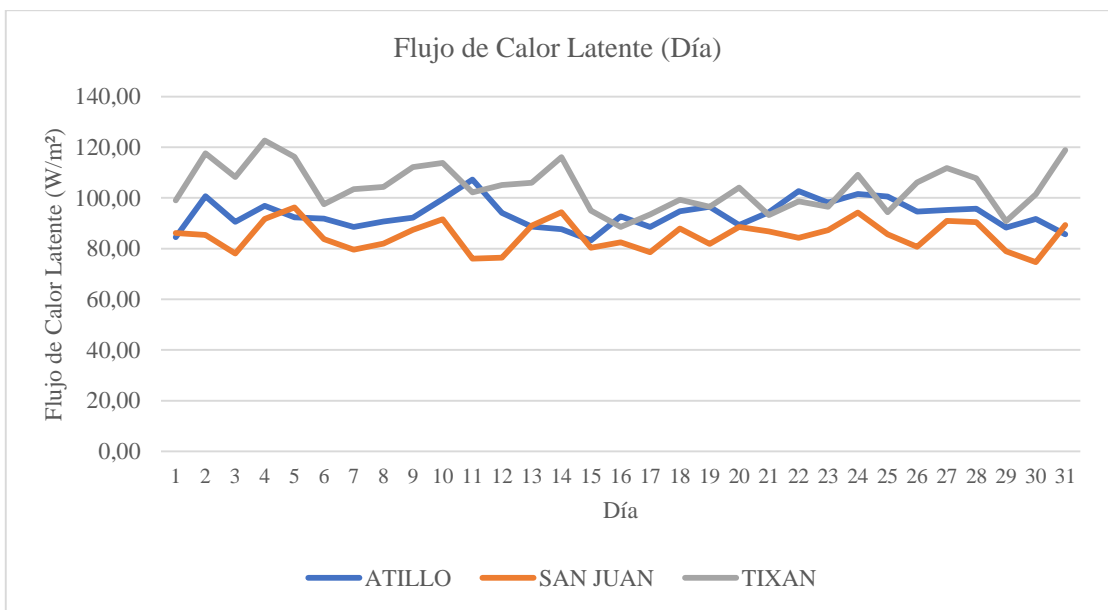
Realizado por: Barzallo, Christian, 2023



**Ilustración 4-6:** Flujo de Calor sensible promedio por cada día

Fuente: (GEAA, 2022)

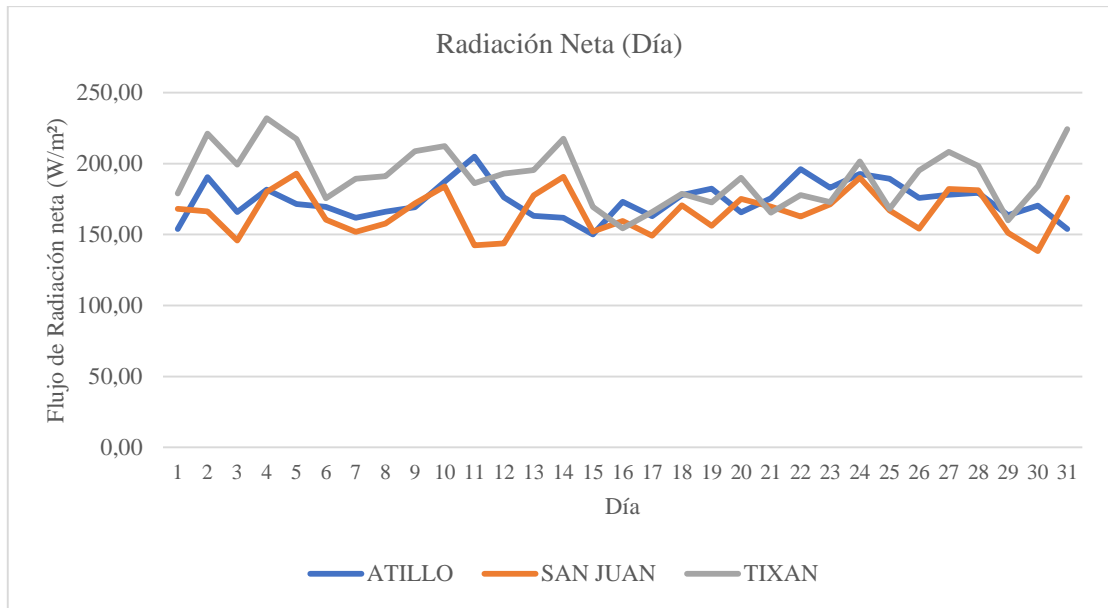
Realizado por: Barzallo, Christian, 2023



**Ilustración 4-7:** Flujo de calor latente promedio por cada día

Fuente: (GEAA, 2022)

Realizado por: Barzallo, Christian, 2023



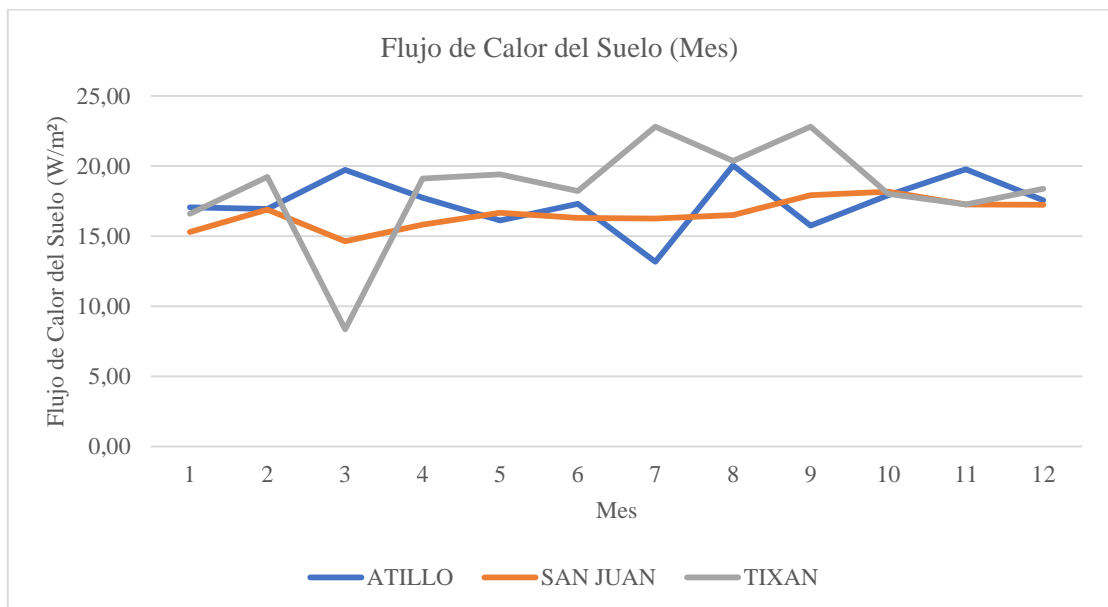
**Ilustración 4-8:** Flujo de radiación neta promedio por cada día

Fuente: (GEAA, 2022)

Realizado por: Barzallo, Christian, 2023

#### 4.2.2. Gráfica promedio de meses

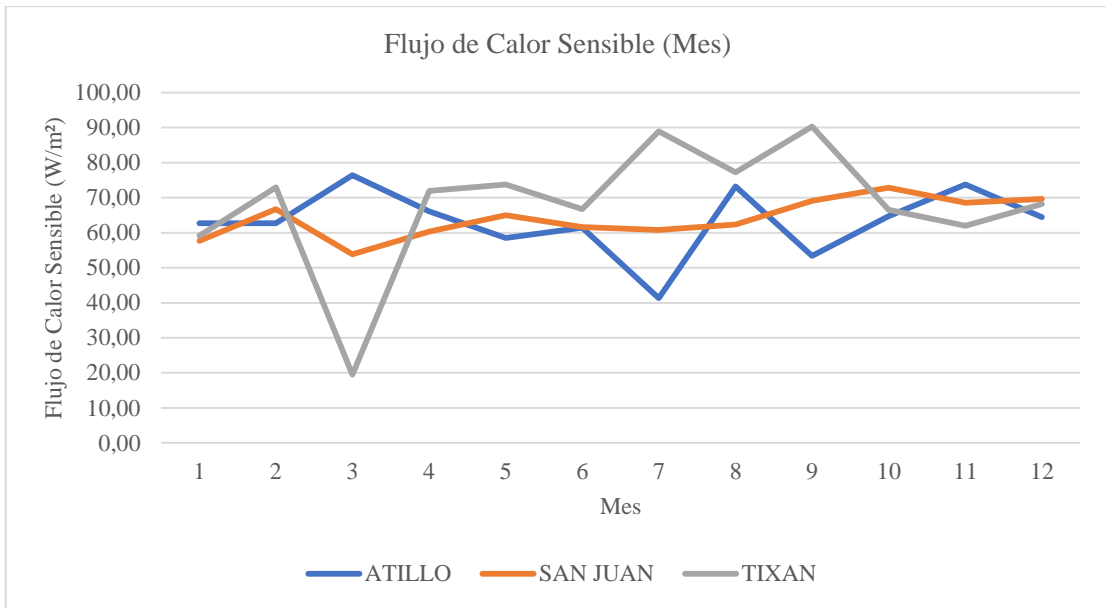
Los números del mes corresponde a cada mes de un año



**Ilustración 4-9:** Flujo de calor del suelo promedio por cada mes

Fuente: (GEAA, 2022)

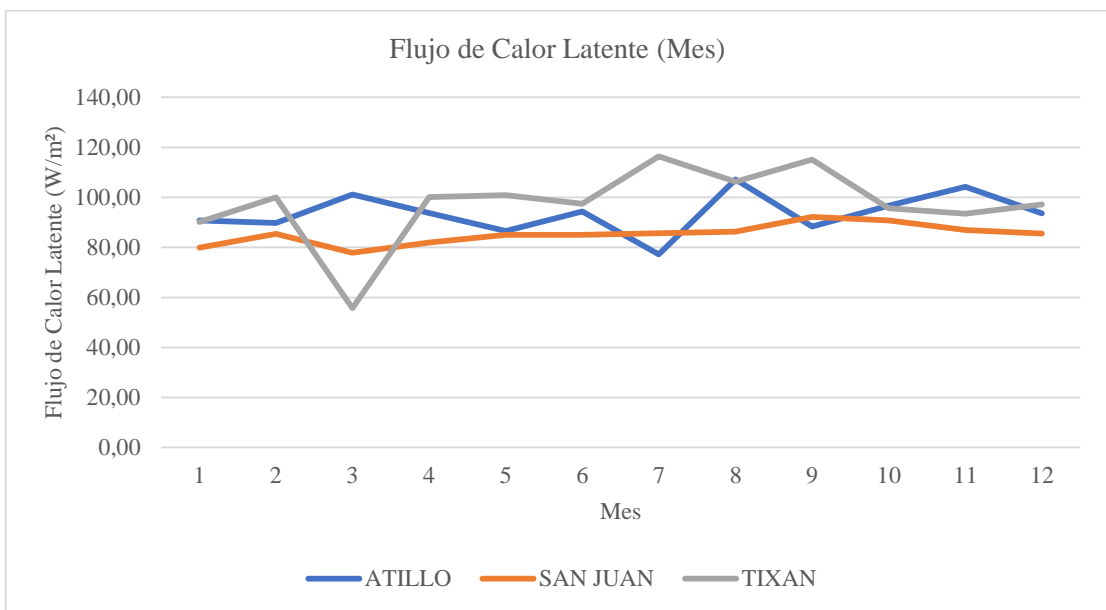
Realizado por: Barzallo, Christian, 2023



**Ilustración 4-10:** Flujo de Calor sensible promedio por cada mes

Fuente: (GEAA, 2022)

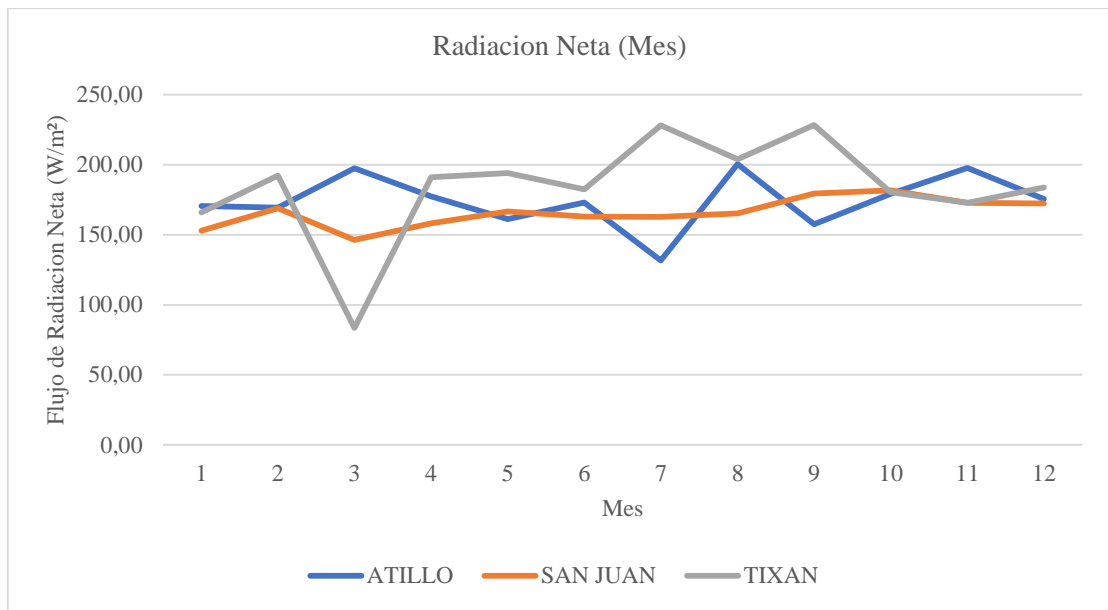
Realizado por: Barzallo, Christian, 2023



**Ilustración 4-11:** Flujo de calor latente promedio por cada mes

Fuente: (GEAA, 2022)

Realizado por: Barzallo, Christian, 2023



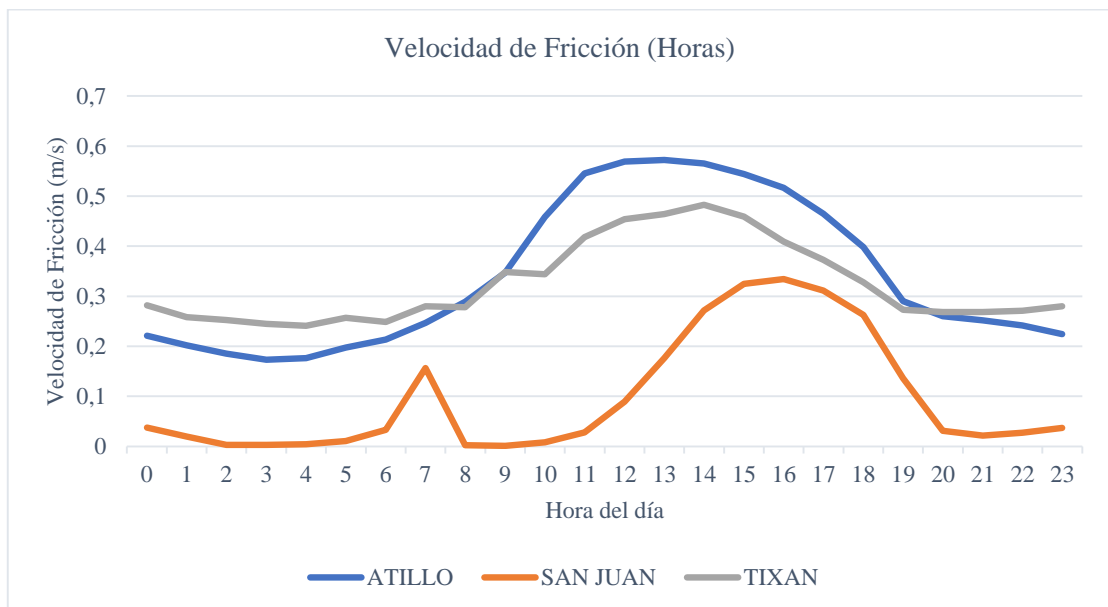
**Ilustración 4-12:** Flujo de radiación neta promedio por cada mes

Fuente: (GEAA, 2022)

Realizado por: Barzallo, Christian, 2023

### 4.3. Gráfica de la longitud de Obukhov y la velocidad de fricción

#### 4.3.1. Gráfica promedio de horas

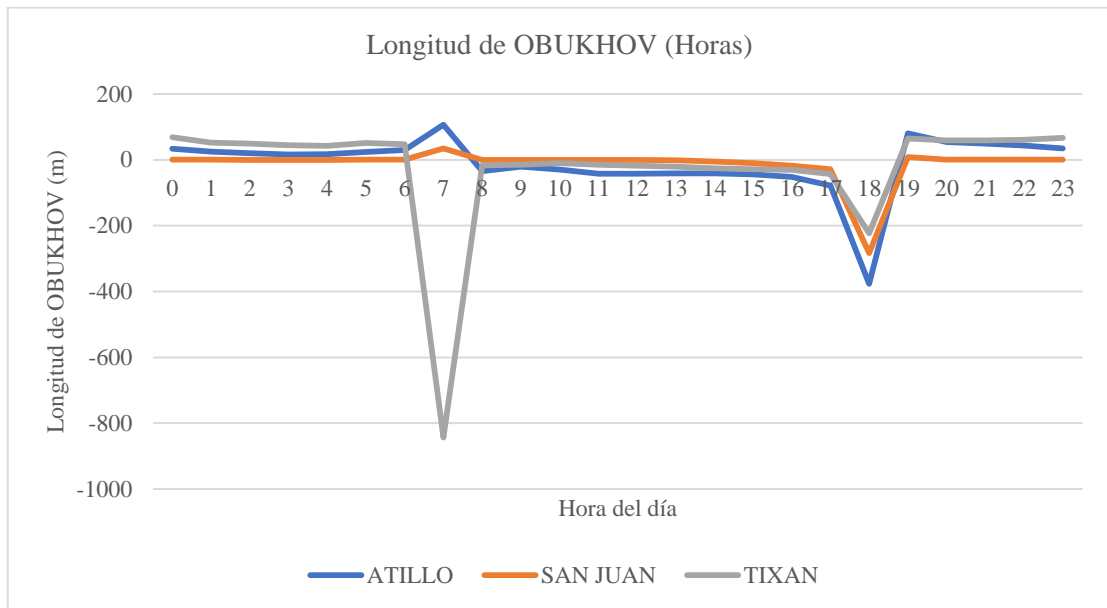


**Ilustración 4-13:** Velocidad de fricción promedio por cada hora

Fuente: (GEAA, 2022)

Realizado por: Barzallo, Christian, 2023

La estación de Atillo y Tixan tienen una velocidad de fricción similar, donde Atillo sobresale con un incremento desde las 7:00 hasta las 13:00, a esa hora es el máximo de su velocidad de fricción, en Tixan incrementa desde las 7:00 hasta las 14:00, siendo en esa hora el máximo de velocidad de fricción, en San Juan se presenta una velocidad de fricción que muy cercano a cero, donde tiene un pico en la gráfica a las 7:00 y después incrementando hasta el máximo desde 11:00 hasta las 16:00.



**Ilustración 4-14:** Longitud de Obukhov promedio por cada hora

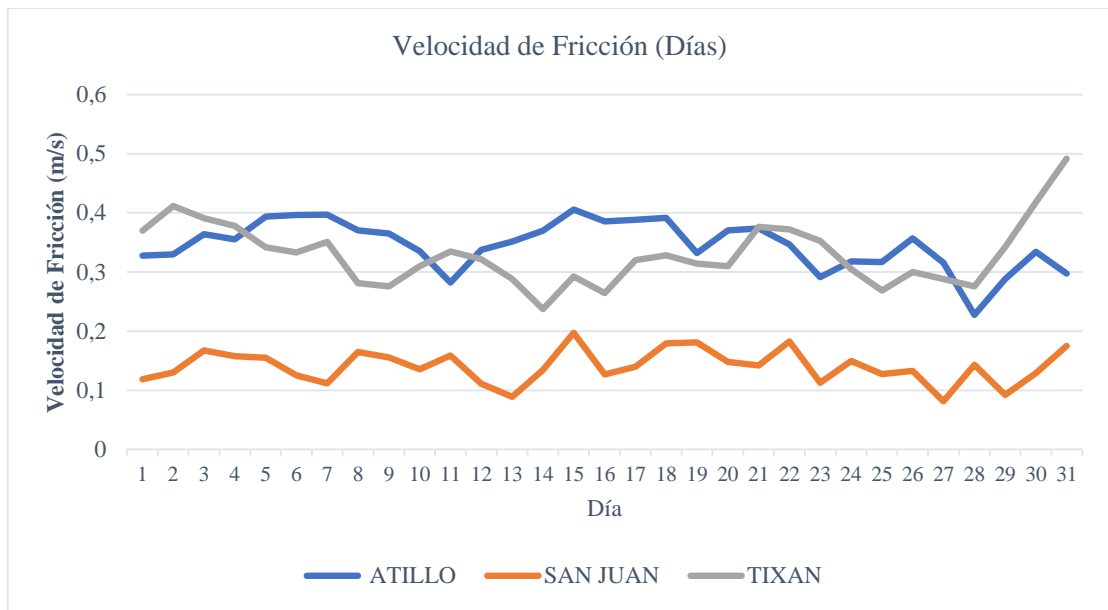
**Fuente:** (GEAA, 2022)

**Realizado por:** Barzallo, Christian, 2023

En la estación San Juan de 0:00 hasta las 14:00 se encuentra en una condición muy estable, después hasta las 19:00 se encuentra inestable casi neutro, de 19:00 hasta las 23:00 se encuentra muy estable. En la estación de Atillo de 0:00 hasta las 7:00 se encuentra estables, de 8:00 a 18:00 se encuentra muy inestable, después hasta las 23:00 su condición es neutro. En la estación de Tixan de 0:00 hasta las 6:00 es estable, de 7:00 a 8:00 la condición es neutra, después hasta las 17:00 es muy inestable a las 18:00 es inestable casi neutro, y después hasta las 23:00 su condición es estable.

#### 4.3.2. Gráfica promedio de días



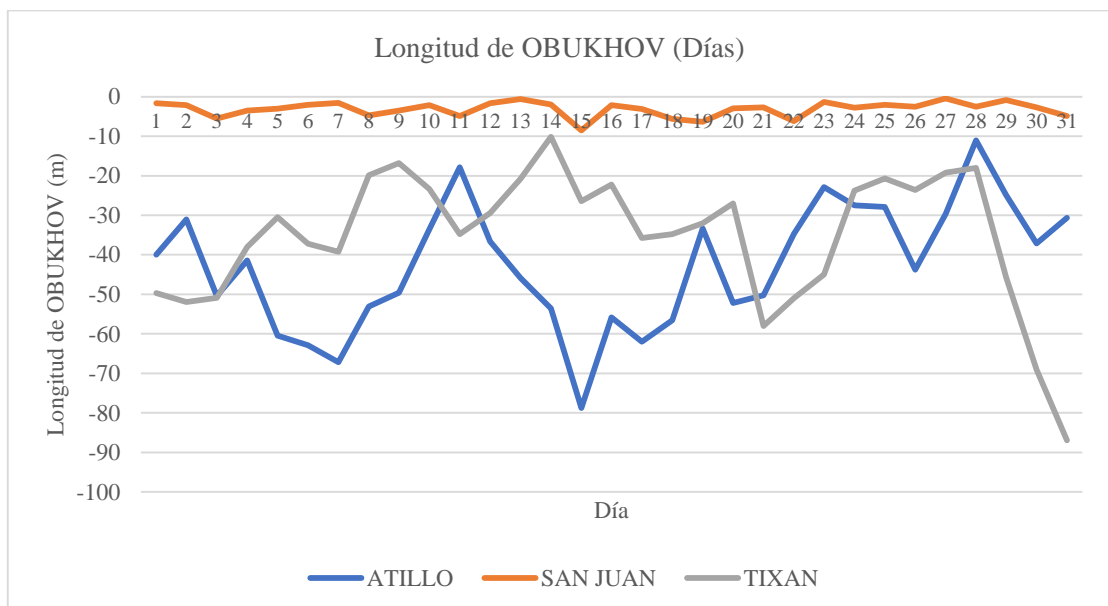


**Ilustración 4-15:** Velocidad de fricción promedio por cada día

Fuente: (GEAA, 2022)

Realizado por: Barzallo, Christian, 2023

En la estación de Atillo y Tixan tienen datos muy cercanos, donde en Tixan el día 31 tiene el máximo en los datos, en la estación de Atillo el día 15 tiene el máximo en los datos obtenidos, la estación de San Juan presenta una menor velocidad de fricción, teniendo su máximo el día 15.



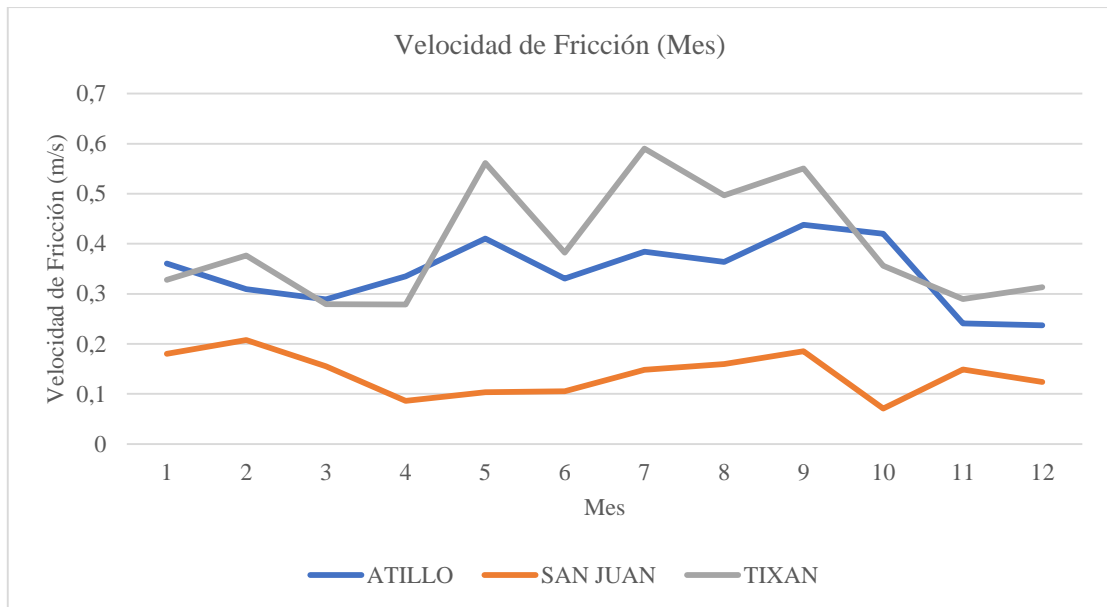
**Ilustración 4-16:** Longitud de Obukhov promedio por cada día

Fuente: (GEAA, 2022)

Realizado por: Barzallo, Christian, 2023

En la estación de San Juan se presenta una condición muy inestable en todos los días, en la estación de Atillo y San Juan se presenta una condición inestable en todos los días, donde en la estación Tixan por el día 31 tiende a inestable casi neutro.

#### 4.3.3. Gráfica promedio de meses

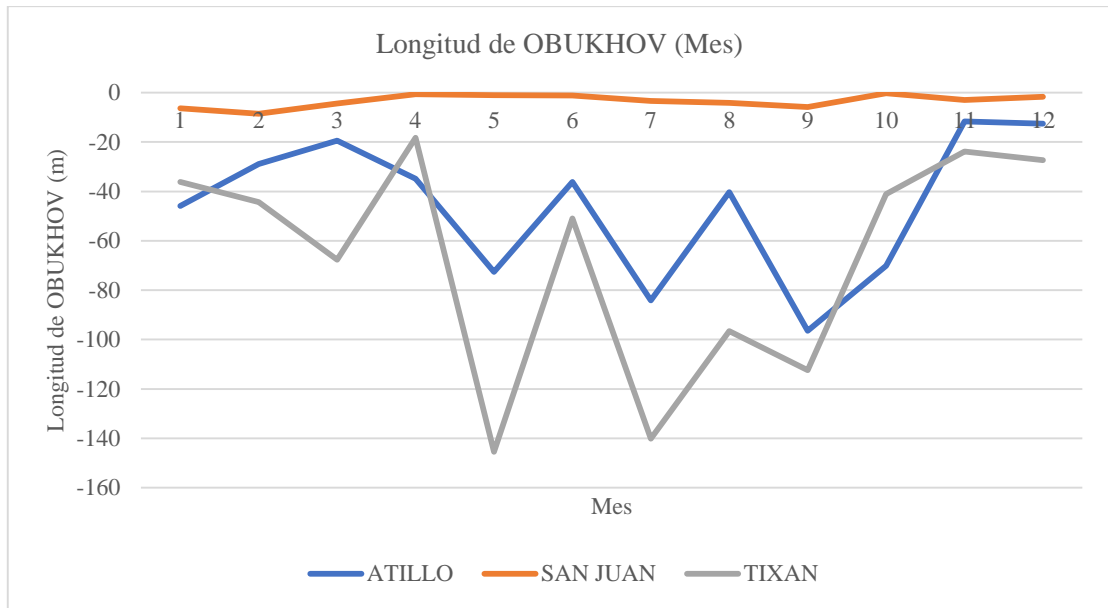


**Ilustración 4-17:** Velocidad de fricción promedio por cada mes

**Fuente:** (GEAA, 2022)

**Realizado por:** Barzallo, Christian, 2023

La estación de Atillo tiene mayor velocidad de fricción en comparación de las demás estaciones, donde el punto máximo de velocidad de fricción se presenta en el mes de julio y el punto mínimo se presenta en el mes de noviembre. En la estación de Atillo el punto máximo de velocidad de fricción se presenta en el mes de septiembre y el punto mínimo en el mes de Abril. En la estación de San Juan no existe mucha variación en los datos en el transcurso de los meses, el punto máximo de velocidad de fricción se presenta en el mes de febrero y el punto mínimo se presente en el mes de octubre.



**Ilustración 4-18:** Longitud de Obukhov promedio por cada mes

**Fuente:** (GEAA, 2022)

**Realizado por:** Barzallo, Christian, 2023

La estación de San Juan presenta una condición muy inestable en el transcurso de los meses, de la misma forma, la estación de Atillo también presenta una condición muy inestable, en la estación Tixan, desde enero hasta abril se presenta una condición muy inestable, después hasta octubre presenta una condición inestable, y después hasta diciembre regresa a tener una condición muy inestable.

#### 4.4. Análisis estadístico

##### 4.4.1. Velocidad de fricción

**Tabla 4-7:** ANOVA para la velocidad de fricción promedio por cada día

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0,809578405	2	0,404789203	227,128	6,7572E-36	3,097698035
Dentro de los grupos	0,160398684	90	0,001782208			
Total	0,969977089	92				

**Fuente:** (GEAA, 2022)

**Realizado por:** Barzallo, Christian, 2023

En este caso  $F >$  Valor crítico para F, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula, esto quiere decir que existe diferencias significativas en la Velocidad de Fricción promedio por día.

**Tabla 4-8:** ANOVA para la velocidad de fricción promedio por cada hora

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0,88665852	2	0,44332926	31,330	2,0842E-10	3,12964398
Dentro de los grupos	0,97634477	69	0,01414992			
Total	1,8630033	71				

Fuente: (GEAA, 2022)

Realizado por: Barzallo, Christian, 2023

En este caso  $F >$  Valor crítico para F, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula, esto quiere decir que existe diferencias significativas en la Velocidad de Fricción promedio por hora.

**Tabla 4-9:** ANOVA para la velocidad de fricción promedio por cada mes

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0,45047688	2	0,225238442	34,003	9,63331E-09	3,28491765
Dentro de los grupos	0,21859558	33	0,006624109			
Total	0,66907246	35				

Fuente: (GEAA, 2022)

Realizado por: Barzallo, Christian, 2023

En este caso  $F >$  Valor crítico para F, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula, esto quiere decir que existe diferencias significativas en la Velocidad de Fricción promedio por Mes.

#### 4.4.2. Longitud de Obukhov

**Tabla 4-10:** ANOVA para la longitud de OBUKHOV promedio por día

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
---------------------------	-------------------	--------------------	---------------------------	---	--------------	----------------------

Entre grupos	35378,1139	2	17689,05695	212,2197	8,5285E-35	3,09769804
Dentro de los grupos	7501,730546	90	83,35256162			
Total	42879,84444	92				

Fuente: (GEAA, 2022)

Realizado por: Barzallo, Christian, 2023

En este caso  $F >$  Valor crítico para F, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula, esto quiere decir que existe diferencias significativas en la Longitud de OBUKHOV promedio por día.

**Tabla 4-11:** ANOVA para la longitud de Obukhov promedio por hora

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	3187,35075	2	1593,67538	0,10415	0,90123148	3,12964398
Dentro de los grupos	1055819,15	69	15301,7268			
Total	1059006,5	71				

Fuente: (GEAA, 2022)

Realizado por: Barzallo, Christian, 2023

En este caso  $F >$  Valor crítico para F, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula, esto quiere decir que existe diferencias significativas en la Longitud de OBUKHOV promedio por hora.

**Tabla 4-12:** ANOVA para la longitud de Obukhov promedio por mes

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	25236,4805	2	12618,2402	13,194	6,1577E-05	3,284917651
Dentro de los grupos	31559,6054	33	956,351679			
Total	56796,0859	35				

Fuente: (GEAA, 2022)

Realizado por: Barzallo, Christian, 2023

En este caso  $F >$  Valor crítico para F, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula, esto quiere decir que existe diferencias significativas en la Longitud de OBUKHOV promedio por mes.

## CONCLUSIONES

- Se definió teóricamente la introducción a la dinámica atmosférica, y se obtuvo las ecuaciones que rigen los movimientos de los flujos atmosféricos usando los modelos de Van Ulden y Hostlag.
- Se realizó un modelado matemático en el software de Excel, con el cual, se pudo automatizar los cálculos para encontrar los resultados de los flujos térmicos y después la velocidad de fricción y la longitud de OBUKHOV, para estos dos parámetros se tuvo que realizar una interacción de ecuaciones, y una iteración de datos para acercarse a los resultados más cercanos, ya que el terreno que presenta las zonas altoandinas de Chimborazo y muy variante, por lo tanto no es posible tener un resultado exacto, solo se puede aproximar.
- Se puede observar las gráficas de los flujos térmicos desde la Grafica 1 hasta la Grafica 12, donde, se está representando el flujo de calor del suelo, el flujo de calor latente, el flujo de calor Sensible, y la Radiación Neta. En todas las gráficas se puede observar que los flujos en Atillo y Tixan tienen los patrones similares, pero en San Juan tiene un patrón diferente y los valores de la estación de San Juan son menores que las demás estaciones. En la estación de Tixan en el promedio de Meses, se presenta una variación fuerte sobre los flujos térmicos en el mes de marzo, especialmente en el flujo de calor sensible, esto provoca que la longitud de OBUKHOV sea variada de forma significativa, se puede observar en las gráficas de los parámetros de Longitud de OBUKHOV y velocidad de Fricción desde la Grafica 13 hasta la Grafica 18. En la velocidad de Fricción y la longitud de OBUKHOV es menor en la estación de San Juan. Existe un gran impacto de variación en la estación de Tixan en el parámetro de longitud de OBUKHOV por influencia del flujo de Calor Sensible en el promedio de horas a las 7:00, lo que provoca que la estabilidad atmosférica es casi estable en horas del día, desde las 6:00 hasta las 8:00 es casi neutro, pero de 17:00 a 18:00 es muy inestable, en horas de la noche se provoca una inversión térmica, la cual, se convierte en estable, en la estación de San Juan en el día es inestable, según la clasificación de Pasquill.

## **RECOMENDACIONES**

- Tener un estudio amplio sobre las constantes presentes en el estudio de cada terreno, ya que tiende a variar en cada ubicación.
- Hacer un modelo matemático más aproximado, usando las iteraciones necesarias para poder llegar al resultado más preciso.

## BIBLIOGRAFÍA

**AHMAD, L., HABIB KANTH, R., PARVAZE, S., & SHERAZ MAHDI, S. (2017).** *Experimental Agrometeorology: A Practical Manual*. Springer International Publishing, pp. 13-48.

<https://doi.org/10.1007/978-3-319-69185-5>

**ANDRADES, M., & MÚÑEZ, C. (2012).** *Fundamentos de Climatología*. Universidad de la Rioja, pp. 19-25.

**CAMILLONI, I., & VERA, C. (2012).** La Atmósfera. *Explora*, Ministerio de educación Argentina, pp. 3–7.

**ÇENGEL, Y. A., & GHAJAR, A. J. (2011).** *Transferencia de calor y masa* (cuarta). McGraw Hill, pp. 17-28.

**ERASO CHECA, F., & ESCOBAR ROSERO, E. (2018).** Metodología para la determinación de características del viento y evaluación del potencial de energía eólica en Túquerres-Nariño. *Revista Científica*, 1(31), pp. 19–31.

<https://doi.org/10.14483/23448350.12304>

**GUEVARA DÍAZ, J. M. (2013).** Cuantificación del perfil del viento hasta 100 m de altura desde la superficie y su incidencia en la climatología eólica. *Terra. Nueva Etapa*, XXIX, pp. 81–101. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=72130181006>

**HARO VELASTEGUÍ, A., LLOSAS ALBUERNE, Y., & FERNANDEZ, M. (2017).** Simulación de la dinámica de un secador solar usando la teoría del caos. *Revista RIEMAT*, pp. 1–5.

**HOLTSLAG, A. A. M., & VAN ULDEN, A. P. (1983).** A Simple Scheme for Daytime Estimates of the Surface Fluxes from Routine Weather Data. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, pp. 517–528.

**JARAMILLO DÍAZ, J. D., & CÁRDENAS BAÑOL, H. A. (2015).** *Número de Reynolds*. Corporación Universitaria Minuto de Dios, pp. 17-21.



**LÓPEZ, J., SALCIDO, A., & CASTRO, T. (2000).** *Radiación Solar y el transporte de contaminantes atmosféricos en una región tropical*, pp. 603–605.

**LYNCH, A. H., & CASSANO, J. J. (2006).** *Applied Atmospheric Dynamics*. John Wiley & Sons Ltd, pp. 167-181.

**REINOSO AVECILLAS, F. Z., JARA COBOS, N. G., GÓMEZ DEL PINO, P. J., & NIETO LONDOÑO, C. (2016).** CARACTERIZACIÓN DEL FLUJO DE AIRE EN COLINAS PARA EL EMPLAZAMIENTO DE PARQUES EÓLICOS. *Ingenius*, 15, pp. 6–9. <https://doi.org/10.17163/ings.n15.2016.02>

**SÁNCHEZ MIÑO. (2003).** *Energías Renovables: Concepto y Aplicaciones*. Universidad de Jaén, pp. 21-28.

**SANTOS BURGUETE, C. (2018).** *Física del caos e la predicción meteorológica*. Agencia Estatal de Meteorología, pp. 83-87.

**SERWAY, R. A., & JEWETT, J. W. (2008).** *Física para Ciencias e Ingeniería: Vol. Volumen 1* (Séptima Edición). Cengage Learning, pp. 587-600.

**STULL, R. B. (1988).** *An Introduction to Boundary Layer Meteorology*. KLUWER ACADEMIC PUBLISHERS, pp. 2-26. <https://doi.org/10.1007/978-94-009-3027-8>

**TEJEDA MARTÍNEZ, A. (2018).** *La humedad en la atmósfera*. Universidad de Colima, pp. 19-54.

**VELASTEGUÍ, A. X. H., LIMÁICO NIETO, C. T., CAHUEÑAS, N. P. P., & PARRA, M. I. F. (2018).** Evaluación de la Estabilidad Atmosférica Bajo Condiciones Físicas y Meteorológicas del Altiplano Ecuatoriano. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 33(2), pp. 336–343. <https://doi.org/10.1590/0102-7786332015>



## ANEXOS

### ANEXO A: CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN QUE SE USÓ COMO REFERENCIA PARA REALIZAR LA ITERACIÓN DE DATOS

%Programa para determinar la estabilidad atmosférica en la ciudad de  
%Riobamba, adaptado a sus condiciones físicas y meteorológicas.

```
%set(handles.importa1,'Enable','on');  
clc  
dm=xlsread('ESPOCHFINAL.xlsx');  
%R=287.08; % J/(kg K);  
P=1013.25; %mBar  
%latgra=str2double(get(handles.latg,'String'));  
latgra=1;  
%latmin=str2double(get(handles.latm,'String'));  
latmin=39;  
%latsec=str2double(get(handles.lats,'String'));  
latsec=0;  
lat=-(latgra+(latmin/60)+(latsec/3600));  
%longra=str2double(get(handles.long,'String'));  
longra=78;  
%lonmin=str2double(get(handles.lonm,'String'));  
lonmin=39;  
%lonsec=str2double(get(handles.lons,'String'));  
lonsec=0;  
lon=longra+(lonmin/60)+(lonsec/3600);%ok  
%cp=1003.62;% J/(kg K) Capacidad calórica  
A1=0.2;  
B1=2.5;  
C1=8;  
gamma=4.7;  
k=0.40; % Constante de von karman  
g=9.78; % m/s^2 aceleración de la gravedad  
sigma=5.67E-8;% W/(m^2K^4)
```

```

nd=input('Numero de datos (5089) N=');
Res=zeros(1,8);
d=0;
for j=1:nd
%M =get(handles.mes,'Value');
M=dm(j,1);
%D=get(handles.dia,'Value');
D=dm(j,2);
%hora=str2double(get(handles.hora,'String'));
hora=dm(j,3);
%m=0;
%m=str2double(get(handles.min,'String'));
%s=str2double(get(handles.sec,'String'));
%s=0;
t=hora; %+(m/60)+(s/3600);
%Cálculo del Dia Juliano
%d=30*(M-1)+D;%ok
if hora==0
d=d+1;
end
%SL=4.871+0.0175*d+0.033*sin(0.0175*d);%ok
%delta=asin(0.398*sin(SL));%ok
%h=-lon*(pi/180)+0.043*sin(2*SL)-0.033*sin(0.0175*d)+0.262*(t+5)-
pi;%ok
delta=0.49*(cos((2*pi*(d-173)/365.25)));
fi=asin(sin(delta)*sin(lat*(pi/180))-
cos(delta)*cos(lat*(pi/180))*cos(t*pi/12));%ok
%Llamado de datos
ds=xlsread('dsuelo.xlsx');
%i=get(handles.suelo,'Value');
i=4;
% Llamado parámetros superficiales
Z0=ds(i,1); % Parámetro de rugosidad
%A=ds(i,2) % Albedo
%B=ds(i,3); % Razón de Bowen

```

```

Cg=ds(i,4); % Constante de flujo terrestre
%Te=str2double(get(handles.tamb,'String'));
Te=dm(j,4);
T=Te+273.15;%ok
%Presión atmosférica
Patm=dm(j,6);
% Cálculo densidad
ro=(Patm/P)*(353.44/(T));
%ro=(Patm*100)/(R*T);
%Calculo calor específico del aire
cp=999.2+0.1434*T+((1.101*10^(-4))*T^(2))- (6.7581*10^(-8))*T^3);
% Cálculo Factor de Albedo
Hu=dm(j,5);
A=0.185*(1-exp(-Hu/100));
% omega=7.2722e-5
% f=2*omega*sin(lat*pi()/180)
% beta=0.2
%incluir la corrección de la densidad por temperatura
%Z=str2double(get(handles.valorZ,'String'));
Z=10;
%u=str2double(get(handles.valoru,'String'));
u=dm(j,8);
%Qf=str2double(get(handles.Qf,'String')); % Flujo de calor antropogénico
%if valor==1
% Q1=str2double(get(handles.radneta,'String'));
%set(handles.Q1,'String',Q1);
%else
%Q1r=dm(j,8);
% N=str2double(get(handles.fraccionCielo,'String'));2
Q1r=dm(j,7);
% N=dm(j,7)/8;
c1=5.31E-13;% W m-2 K-6
c2=60;% W m-2
% c3=0.12;
a1=990;% W m-2

```

```

a2=-30;% W m-2
b1=-0.75;
b2=3.4;
% A=0.18; %albedo
%Calculo de la nubosidad metodo AEREMET
if (t-1)<0
t=24;
end
fi=asin(sin(delta)*sin(lat*(pi/180))-
cos(delta)*cos(lat*(pi/180))*cos((t-1)*pi/12));%ok
fi1=(fi+fi1)/2;
Ro=(a1*sin(fi1)+a2);
N=((1-Q1r/Ro)/0.75)^(1/3.4);

% Radiación de onda corta incidente
Qsw=(a1*sin(fi1)+a2)*(1+b1*N^b2); %*(1-A); %No se esta usando esta
relacion
%incluir corrección de albedo para ángulo fi
% Calculo de radiacion neta en funcion de radiacion incidente
S=exp(0.055*(T-279));
c3=(0.38*((1-A)*S+1)/(S+1));
Q1=((1-A)*Q1r+(c1*T^6)-(sigma*T^4)+c2*N)/(1+c3); % radiación neta
ok
% set(handles.Q1,'String',Q1);
%end
% Flujo de calor sensible
Qf=0;
beta=20; %W/m2
Cg=0.75;
%Cálculo flujo de calor
%Qh=((1-Cg)*Q1+Qf)*(B/(1+B));
Qh=(((1-Cg)*S+1)*Q1*(1-A))/(1+S)-Cg*beta;
%Qh2=((1-Cg)*(Q1r)+Qf)*(B/(1+B));
% Flujo de calor latente
ag=0.3;

```

```

%Qe=Qh/B;
Qe=Q1*(1-ag)-Qh;
Qg=Q1*ag;
Res(j,1)=Qh;
%set(handles.Qe,'String',Qe);
Res(j,2)=Qe;
Res(j,3)=Qg;
Res(j,4)=Q1;
%método iterativo para calcular L
uuo=(k*u)/log(Z/Z0);
LLo=-(ro*cp*T*uuo^3)/(k*g*Qh);
Res(j,8)=LLo;
if LLo<0
x=(1-16*(Z/LLo))^0.25;
fim=2*log((1+x)/2)+log((1+x^2)/2)-2*atan(x)+pi/2;
x0=(1-16*(Z0/LLo))^0.25;
fim0=2*log((1+x0)/2)+log((1+x0^2)/2)-2*atan(x0)+pi/2;
fih=2*log((1+x^2)/2);
uu=(k*u)/(log(Z/Z0)-fim+fim0);
L=-(ro*cp*T*uu^3)/(k*g*Qh);
elseif LLo>0
fim=-5*(Z/LLo);
fim0=fim;
fih=fim;
uu=k*u/(log(Z/Z0)-fim+fim0);
L=-(ro*cp*T*uu^3)/(k*g*Qh);
end
if abs(abs(LLo)-abs(L))>0.005
LLo=L;
if LLo<0
x=(1-16*(Z/LLo))^0.25;
fim=2*log((1+x)/2)+log((1+x^2)/2)-2*atan(x)+pi/2;
x0=(1-16*(Z0/LLo))^0.25;
fim0=2*log((1+x0)/2)+log((1+x0^2)/2)-2*atan(x0)+pi/2;
fih=2*log((1+x^2)/2);

```

```

uu=k*u/(log(Z/Z0)-fim+fim0);
L=-(ro*cp*T*uu^3)/(k*g*Qh);
gamma1=0.005;
elseif LLo>0
fim=-5*(Z/LLo);
fim0=fim;
fih=fim;
uu=k*u/(log(Z/Z0)-fim+fim0);
L=-(ro*cp*T*uu^3)/(k*g*Qh);
gamma1=0.01;
end
end
Res(j,5)=uu;
%Res(j,5)=Q1r;
Res(j,6)=L;
% Res(j,6)=Ro;
% Calmas
if u==0
%disp('Calma');
%set(handles.estabi,'string','Inestable')
Res(j,7)=8;% '%G';
end

```

```

% identifica el tipo de ESTABILIDAD Gryning et al 2007
if L<0 & L>(-1/0.056)
%disp('Muy Inestable');
% set(handles.estabi,'string','Muy estable')
Res(j,7)=1; '%A';
elseif L<=(-1/0.056) & L>(-1/0.016)%adamente Inestable');
%disp('Inestable');
%set(handles.estabi,'string','Estable')
Res(j,7)=2;% 'B';
elseif L<=(-1/0.016) & L>(-1/0.004)
% disp('Ligeramente Inestable');

```

```

%set(handles.estabi,'string','Estable')
Res(j,7)=3;% 'C';
elseif L<=-250
%disp('Neutra');
%set(handles.estabi,'string','Estable')
Res(j,7)=4;% 'D';
elseif L>500
%disp('Neutra');
%set(handles.estabi,'string','Estable')
Res(j,7)=4;% 'D';

elseif L<=(1/0.002) & L>(1/0.006)
%disp('Ligeramente Estable');
%set(handles.estabi,'string','Estable')
Res(j,7)=5;% 'E';
elseif L<=(1/0.006) & L>(1/0.022)
%disp('Estable');
%set(handles.estabi,'string','Inestable')
Res(j,7)=6;% 'F';
elseif L<=(1/0.022) & L>0
%disp('Extremadamente Estable');
%set(handles.estabi,'string','Inestable')
Res(j,7)=7;% 'G';
elseif L==0
%disp('Calma');
%set(handles.estabi,'string','Inestable')
Res(j,7)=8;% 'G';
end
d
end
xlswrite('ESPOCHPRUEBA.xls',Res);

```





epoch

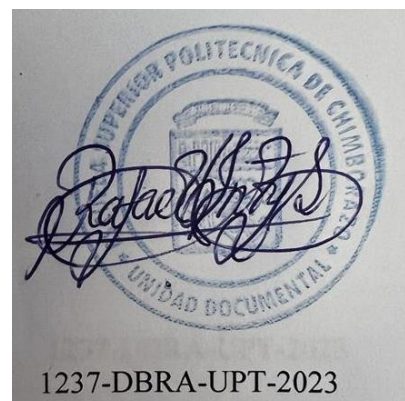
Dirección de Bibliotecas y  
Recursos del Aprendizaje

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y  
DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 30 / 06 / 2023

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)</b>
<b>Nombres – Apellidos:</b> Christian Xavier Barzallo Rojas
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> Ciencias
<b>Carrera:</b> Física
<b>Título a optar:</b> Físico
<b>f. Analista de Biblioteca responsable:</b> Ing. Rafael Inty Salto Hidalgo



1237-DBRA-UPT-2023