UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

EVALUACIÓN DE LA ALTURA DE LA CAPA DE MEZCLA ATMOSFÉRICA COMO UN PARÁMETRO PARA CALCULAR LA DISPERSIÓN DE LOS CONTAMINANTES EN LA PROVINCIA DE CORONEL PORTILLO - UCAYALI

TESIS

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE

INGENIERO AMBIENTAL

RICKY RAELIN VICUÑA SALAZAR

PUCALLPA – PERU

2017

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 39

En la ciudad de Pucallpa a las 10:56 horas del día 16 de febrero del año 2017, se reunieron en la sala de docentes de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad Nacional de Ucayali, los miembros del jurado calificador integrado por los siguientes docentes:

Dr. Carlos Panduro Carbajal	Presidente
Ing. M.Sc. Tedy Tuesta Torrejón	Miembro

Para evaluar la sustentación de la tesis **"EVALUACIÓN DE LA ALTURA DE LA ALTURA DE LA CAPA DE MEZCLA ATMOSFÉRICA COMO UN PARÁMETRO PARA CALCULAR LA DISPERSIÓN DE LOS CONTAMINANTES EN LA PROVINCIA DE CORONEL PORTILLO – UCAYALI"** presentado por el Bachiller Ricky Raelin Vicuña Salazar .

Terminada la sustentación se procedió a la formulación de preguntas por los miembros del jurado calificador siendo absueltas satisfactoriamente por el sustentante razón por la cual la tesis fue aprobada por mayoría con el calificativo de Muy Bueno, por el cual se declara apto para otorgarle el título de Ingeniero Ambiental.

Siendo asesor de tesis la Ing. M.Sc. Gladys Elena Rojas Gutiérrez

A las 12:10 horas del mismo día se dio por finalizada el acto académico.

El Ing. Luis Díaz Sandoval miembro del jurado de tesis no pudo asistir por motivo de fuerza mayor.

Dr. Carlos Panduro Carbajal
Presidente

Ing. M. Sc. Tedy Tuesta Torrejón
Miembro

DEDICATORIA

A Dios por haberme cuidado y brindarme la oportunidad para poder culminar esta etapa satisfactoriamente.

A mis padres, por darme las herramientas necesarias para ser un profesional, esperando corresponder considerablemente la confianza depositada en mi persona y brindarles los frutos de su enorme esfuerzo.

AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Luis Suarez Salas – Investigador del Instituto Geofísico del Perú, por permitirme participar en la V Escuela Nacional de Investigación en Ciencias Atmosféricas, realizado en la ciudad de Huancayo.

Al Lic. Jorge Llamocca – Departamento de Modelamiento Numérico del SENAMHI, por la colaboración en el desarrollo de la tesis de investigación.

Al Ing. Dino Edmundo Ferruzo Montani – Gerente de Mantenimiento en la empresa North American, por su colaboración en la entrega de los registros sobre la temperatura del aire.

Al Ing. Gladys Gutiérrez Rojas, por su constante apoyo en el desarrollo del documento.

Al Ing. Jenny Zeña Rubio, por su constante apoyo y guía en el desarrollo del documento.

Al Técnico en Meteorología Alberto Valera – Encargado de la Estación Meteorológica de la Universidad Nacional de Ucayali, por su constante apoyo en la entrega de datos meteorológicos del año 2015.

A los académicos quienes estudiaron mi tesis y la aprobaron.

Mis agradecimientos a todas las personas que compartieron mi camino a la culminación de este documento.

INDICE DEL CONTENIDO

DEDICATORIA 2
AGRADECIMIENTOS 3
INDICE DE CUADROS 6
INDICE DE FIGURAS 6
RESUMEN 9
ABSTRACT 11
INTRODUCCIÓN 13
CAPITULO I 14
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 14
1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 14
1.2 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA 16
CAPITULO II 18
MARCO TEORICO 18
2.1 PLANTEAMIENTO TEORICO DEL PROBLEMA 18
CAPITULO III 41
METODOLOGÍA 41
3.1 DESCRIPCION DEL ÁREA DE ESTUDIO 41
3.2 MÉTODO DE INVESTIGACIÓN 42
3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA 42
3.3.1 POBLACIÓN 42
3.3.2 MUESTRA 42
3.4 PROCEDIMIENTOS DE RECOLECCION DE DATOS 42
3.4.1 TÉCNICA DE CAMPO 44
3.5 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA RECOLECCIÓN DE DATOS 44
3.5.1 MATERIALES Y HERRAMIENTAS 44
3.6 PROCESAMIENTO DE DATOS 45
CAPITULO IV 47
RESULTADOS Y DISCUSION 47
4.1 COMPORTAMIENTO DEL GRADIENTE VERTICAL DE TEMPERATURA 47
4.1.1 VARIACIÓN MENSUAL DEL GRADIENTE VERTICAL DE TEMPERATURA 50
4.2 COMPORTAMIENTO DE LA ALTURA DE LA CAPA DE MEZCLA ATMOSFERICA EN LA PROVINCIA DE CORONEL PORTILLO 52
4.2.1 COMPORTAMIENTO MENSUAL DE LA CAPA DE MEZCLA 55
4.3 COMPORTAMIENTO DEL GRADO DE ESTABILIDAD ATMOSFERICA 56

4.3.1 ESTABILIDAD ATMOSFÉRICA A LAS 07 HORAS 58
4.3.2 ESTABILIDAD ATMOSFERICA A LAS 13 HORAS 60
4.3.3 ESTABILIDAD ATMÓSFERICA A LAS 16 HORAS 62
4.3.4 VARIACION DE LA ESTABILIDAD ATMOSFERICA POR ESTACIONES .. 64
CAPÍTULO V 66
5.1 CONCLUSIONES 66
BIBLIOGRAFÍA 68
ANEXOS 70

INDICE DE CUADROS

TABLA 1: Categorías de Estabilidad según Pasquill - Gifford 29
TABLA 2: Turbulencia de la Atmosfera – Clases 30
TABLA 3: Nivel de Radiación solar incidente en función de la nubosidad 31
TABLA 4: Clasificación de las masas de aire 33
TABLA 5: Caracterización Mensual del grado de Estabilidad Atmosférica en la provincia de Coronel Portillo 2015..... 56
TABLA 6: Caracterización de los grados de Estabilidad Atmosférica a las 07 horas 57
TABLA 7: Caracterización de los grados de Estabilidad Atmosférica a las 13 horas 59
TABLA 8: Caracterización de los grados de Estabilidad Atmosférica a las 16 horas 61
TABLA 9: Caracterización Estacional de los grados de Estabilidad Atmosférica ..... .63
TABLA 10: Procesamiento de datos de los meses de enero – diciembre 2015 .....…69
TABLA 11: Influencia de la insolación en el comportamiento de la inestabilidad y de la capa de mezcla atmosférica 88

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: Variación de la altura con la altitud 22
FIGURA 2: Condición atmosférica estable 24
FIGURA 3: Condición atmosférica inestable 25
FIGURA 4: Condición atmosférica neutra 26
FIGURA 5: Clases de las masas de aire 32
FIGURA 6: Parque automotor en la provincia de Coronel Portillo 35
FIGURA 7: Aserraderos en la provincia de Coronel Portillo 36
FIGURA 8: Empresas ladrilleras en la provincia de Coronel Portillo 37
FIGURA 9: Vías sin afirmar en la provincia de Coronel Portillo 37
FIGURA 10: Ubicación del área de estudio 40
FIGURA 11: Flujograma del procedimiento de recolección de datos 42
FIGURA 12: Registros de temperatura del aire de North American 43
FIGURA 13: Comportamiento del gradiente vertical de temperatura en la estación de verano 2015 47
FIGURA 14: Comportamiento del gradiente vertical de temperatura en la estación de otoño 2015 47
FIGURA 15: Comportamiento del gradiente vertical de temperatura en la estación de invierno 2015 48
FIGURA 16: Comportamiento del gradiente vertical de temperatura en la estación de primavera 2015 48
FIGURA 17: Resumen del comportamiento estacional del gradiente vertical de temperatura 2015 49
FIGURA 18: Comportamiento mensual del gradiente vertical de temperatura 2015 50
FIGURA 19: comportamiento mensual de la temperatura del suelo 2015 50
FIGURA 20: comportamiento de la altura de la capa de mezcla atmosférica en la estación de verano 2015 52
FIGURA 21: Comportamiento de la altura de la capa de mezcla atmosférica en la estación de otoño 2015 52
FIGURA 22: Comportamiento de la altura de la capa de mezcla atmosférica en la estación de invierno 2015 53

FIGURA 23: Comportamiento de la altura de la capa de mezcla atmosférica en la estación de primavera 2015 53
FIGURA 24: Resumen del comportamiento estacional de la altura de la capa de mezcla atmosférica 2015..... 54
FIGURA 25: Comportamiento mensual de la capa de mezcla atmosférica..... 55
FIGURA 26: Comportamiento mensual de la estabilidad atmosférica en la provincia de Coronel Portillo 2015..... 56
FIGURA 27: Comportamiento mensual de la EA a las 07 horas en la provincia de Coronel Portillo..... 58
FIGURA 28: Comportamiento mensual de la EA a las 13 horas en la provincia de Coronel Portillo..... 60
FIGURA 29: Comportamiento mensual de la EA a las 16 horas en la provincia de Coronel Portillo..... 62
FIGURA 30: Resumen del comportamiento estacional de la Estabilidad atmosférica..... 64
FIGURA 31: Comportamiento diario del gradiente vertical de temperatura de los meses enero – diciembre 2015 81
FIGURA 32: Comportamiento diario de la capa de mezcla de los meses enero – diciembre 2015..... 84
FIGURA 33: Influencia de la insolación en el comportamiento de la inestabilidad y altura de la capa de mezcla atmosférica 2015 85

“EVALUACIÓN DE LA ALTURA DE LA CAPA DE MEZCLA ATMOSFÉRICA COMO UN PARÁMETRO PARA CALCULAR LA DISPERSIÓN DE LOS CONTAMINANTES EN LA PROVINCIA DE CORONEL PORTILLO – UCAYALI”

[1] Ricky R. Vicuña Salazar

RESUMEN

El estudio, Evaluación de la altura de la capa de mezcla atmosférica como un parámetro para calcular la dispersión de los contaminantes se realizó en el espacio aéreo de la provincia de Coronel Portillo, región Ucayali – Perú, donde la temperatura del aire se registró en el caserío Naranjal, considerado como el lugar donde la avioneta completa su elevación, con coordenadas UTM 18L 527543E; 9104639N. Este estudio comprendió un desarrollo progresivo de diferentes etapas que inicio con la recopilación de información hasta el procesamiento de datos meteorológicos obtenidas de las planillas climatológicas de la estación meteorológica de la Universidad Nacional de Ucayali y de los registros de temperatura del aire, proporcionados por la empresa comercial North American; entre los parámetros utilizados tenemos: la temperatura ambiental de aire a una altura de 3000 metros, temperatura del suelo, temperatura del aire, nubosidad, velocidad de viento. Se realizó operaciones aritméticas, para obtener el resultado del comportamiento del gradiente vertical de temperatura de manera diaria, para los resultados mensuales, se promedió los resultados diarios y para el comportamiento del gradiente vertical de temperatura estacional, se promedió los resultados de 03 meses considerados para cada estación. Para la obtención del comportamiento de la estabilidad atmosférica, se empleó los cuadros de estabilidad atmosférica propuestos por **Pasquill- Gifford**, donde dividen la categoría de inestabilidad en: Muy Inestable (MI), Inestable (I) y Ligeramente Inestable (LI); para obtener el comportamiento de la estabilidad de la atmósfera se empleó los parámetros meteorológicos de nubosidad y velocidad de viento. El procedimiento empleado para obtener la altura de la capa de mezcla atmosférica, estuvo basado en operaciones aritméticas propuestos por **Wark, Warner (2007). Contaminación del aire – origen y control**; empleando, los resultados obtenidos del gradiente vertical de

temperatura y la información de los parámetros meteorológicos de la estación. En conclusión, los resultados para la provincia de Coronel Portillo sobre el comportamiento del gradiente vertical de temperatura mensual es de 4.98 °C/Km en el mes de julio (mínimo) y 6.09 °C/Km en el mes de octubre (máximo), en relación a los resultados estacionales, tenemos: verano con 5.48 °C/Km, otoño con 5.55 °C/Km, invierno con 5.60 °C/Km y primavera con 5.97 °C/Km; respecto al grado de estabilidad atmosférica, este resultó siendo inestable, el que determina que la adecuada condición para la dispersión y mezcla de los contaminantes en la atmósfera ocurren en los meses de Invierno y otoño, debido a que en estas estaciones la categoría de atmósfera es **Muy Inestable** (MI), es la que predomina con respecto a las demás estaciones. La altura de capa de mezcla atmosférica para la provincia de Coronel Portillo, oscila 1.38 kilómetros en noviembre y 1.83 kilómetros en agosto, en los meses de invierno alcanza 1.72 kilómetros de altura y en los meses de verano alcanza 1.63 Kilómetros de altura.

PALABRAS CLAVES: capa de mezcla, estabilidad atmosférica, dispersión

---

1. Bachiller en Ciencias Ambientales - egresado de la Universidad Nacional de Ucayali

“EVALUATION OF THE HEIGHT OF THE ATMOSPHERIC MIXTURE LAYER AS A PAMETER TO CALCULATE THE DISPERSION OF POLLUTANTS IN THE PROVINCE OF COLONEL PORTILLO”

[1] Ricky R. Vicuña Salazar

ABSTRACT

The study, Assessment of the height of the atmospheric mixture layer as a parameter to calculate the dispersion of the pollutants was made in the airspace of the province of Coronel Portillo, Ucayali region - Peru, air temperature was recorded in the village Naranjal, considered as the place where the plane completes its elevation, with coordinates UTM 18L 527543E; 9104639N. This study included a progressive development of different stages that began with the collection of information until the processing of meteorological data obtained from the climatological sheets of the meteorological station of the Ucayali National University and of the air temperature records provided by the company North American commercial; Among the parameters used we have: ambient air temperature at a height of 3000 meters, soil temperature, air temperature, cloudiness, wind speed. We performed arithmetic operations to obtain the result of the behavior of the vertical temperature gradient on a daily basis for the monthly results, we averaged the daily results and for the behavior of the vertical gradient of seasonal temperature, we averaged the results of 03 months considered for Every season. In order to obtain the behavior of the atmospheric stability, we used the atmospheric stability charts proposed by Pasquill-Gifford, where they divide the instability category into: Very Unstable (MI), Unstable (I) and Slightly Unstable (LI); To obtain the behavior of the stability of the atmosphere was used the meteorological parameters of cloudiness and speed of wind. The procedure used to obtain the height of the atmospheric mixture layer was based on arithmetic operations proposed by Wark, Warner (2007). Air pollution - origin and control; Using the results obtained from the vertical temperature gradient and the information of the meteorological parameters of the station. In conclusion, the results for the province of Coronel Portillo on the behavior of the vertical gradient of monthly temperature is 4.98 ° C / Km in July (minimum) and 6.09 ° C / Km in October (maximum), In relation to the

seasonal results, we have: summer with 5.48 ° C / Km, autumn with 5.55 ° C / Km, winter with 5.60 ° C / Km and spring with 5.97 ° C / Km; With respect to the degree of atmospheric stability, it proved to be unstable, which determines that the adequate condition for the dispersion and mixing of pollutants in the atmosphere occur in the winter and autumn months, because in these stations the atmosphere category is Very Unstable (MI), is the one that predominates with respect to the other stations. The atmospheric mixture layer height for the province of Coronel Portillo, oscillates 1.38 kilometers in November and 1.83 kilometers in August, in the winter months it reaches 1.72 kilometers in height and in the summer months it reaches 1.63 kilometers in height.

KEYWORDS: blend layer, atmospheric stability, dispersion

---

1. Bachelor of Science in Environmental- Sciences graduated from the national university of Ucayali

INTRODUCCIÓN

La altura de la capa limite atmosférica o la altura de la capa de mezcla (Z) es un parámetro fundamental que caracteriza la estructura de la troposfera baja. Los contaminantes liberados a la capa de mezcla se dispersan de manera gradual, horizontal y verticalmente, a través de la acción de la turbulencia, finalmente reaccionan en un espesor definido de atmósfera, llamado capa de mezcla, que típicamente va de unos pocos cientos de metros de altura hasta dos o tres kilómetros. El espesor de capa de mezcla varía en un mismo día, debido a ***las condiciones de estabilidad o inestabilidad atmosférica y con la tasa de insolación recibida***.

La altura de la capa de mezcla (Z) es un parámetro importante para los modelos de contaminación atmosférica, por cuanto determina el volumen disponible para la dispersión de contaminantes y está envuelta en muchos métodos y modelos predictivos y de diagnóstico para evaluar las concentraciones de los contaminantes; también es un parámetro importante en los modelos de dispersión atmosférico de contaminantes. Es de suma importancia evaluar la capa de mezclado que se tendrá, ya que junto con el inventario de emisiones y el monitoreo atmosférico, esta información es base para la toma de decisiones y el establecimiento de políticas en el tema de contingencias ambientales ***(Trejo Vásquez, 2011)***.

En Perú al igual que en muchos países en vías de desarrollo, la altura de la capa de mezcla no es medido por las prácticas meteorológicas normales; al contrario, es a menudo un parámetro cuya definición y estimación no resulta sencilla. No se realizan sondeos de la atmósfera superior, por no disponer del equipamiento necesario.

El objetivo general fue, Evaluar la altura de la capa de mezcla atmosférica como un parámetro para calcular la dispersión de los contaminantes en la provincia de Coronel Portillo, región Ucayali, los objetivos específicos fueron, la evaluación del comportamiento diario, mensual y estacional de la gradiente vertical de temperatura, la evaluación del comportamiento horario, mensual y estacional de la estabilidad atmosférica y la estimación de la altura de la capa de mezcla diaria, mensual y estacional.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Las actividades que se realizan en las ciudades suponen una alteración del ambiente, al generar diferentes impactos en la población. Al respecto, debe considerarse que "*durante las últimas décadas, la humanidad ha experimentado que el aumento considerable en la producción, en el consumo de recursos, en particular de residuos, constituyen una grave amenaza al equilibrio ecológico del ambiente. La emisión y dispersión de gran cantidad de contaminantes en la atmósfera de la ciudad, producto de las actividades antrópicas, más la topografía y las condiciones climáticas, conducen a niveles significativos de contaminación* ***(Ryaboshapko et al., 1998, Blanco 2003).***

La contaminación del aire urbano es un serio problema en muchas grandes ciudades del planeta. El intenso e incesante tráfico, unido a fábricas que no controlan sus emisiones, convierte el aire de ciudades de todo el mundo en auténticas nubes de smog. Los niveles de partículas contaminantes sobrepasan en muchos casos el límite de seguridad para la salud humana marcado por la OMS. La contaminación del aire mato aproximadamente a 7 millones de personas en 2012, lo que la convierte en el gran problema de salud medioambiental mundial según la OMS. La cifra conlleva que una de cada ocho muertes mundiales en 2012 se vinculó con el aire contaminado.

Si tenemos en cuenta que la población aumentara de los 7 mil millones actuales a los 9 mil millones en los próximos años, mejorar la calidad del aire en las ciudades es un reto que urge.

La contaminación del aire se convertirá en la principal causa ambiental de mortalidad prematura en el mundo. Se calcula que hacia 2050 el número de muertes prematuras derivadas de la exposición a partículas suspendidas aumentara más del doble y alcanzara 3,6 millones cada año

en el planeta. **(Acciona, sostenibilidad para todos. Recuperado de http://www.sostenibilidad.com/contaminacion-aire-urbano).**

La provincia de Coronel Portillo no escapa de este problema, el incremento de las actividades humanas asociadas al progreso trajo consigo un aumento considerable y una redistribución de la concentración de los contaminantes gaseosos. Siendo considerado como un problema reciente, el incremento del parque automotor (*motos lineales – automóviles)* y de las industrias en general dedicados a la transformación de la materia prima, quienes emiten sus contaminantes gaseosos a la atmósfera por las noches, haciendo caso omiso a algunos conceptos generales como: *estabilidad atmosférica,* donde de acuerdo a estudios realizados, estos indican que la atmósfera, durante las noches adopta un comportamiento estable; es decir que el movimiento convectivo de los contaminantes no se lleva acabo (*por diferencia de temperatura*); ocasionando que estos se concentren cerca de la superficie terrestre (*alcanzando una altura mínima)*, sumándole a ello los episodios de las inversiones térmicas, generando impactos en la salud de las personas de los asentamientos humanos colindantes a las industrias en general.

La presente tesis pone de manifiesto cual es la situación actual en la provincia de Coronel Portillo sobre el comportamiento de capa de mezcla atmosférica, como un parámetro para calcular la dispersión de los contaminantes, los posibles impactos en la población y las medidas de mitigación que podrían considerar. Para analizar todos estos aspectos, se ha planteado registrar la temperatura del aire atmosférico a una altura de 3000 metros, con la cual se elaboró gráficos sobre la variación de la capa de mezcla en la provincia de Coronel Portillo, para un año de estudio (2015), de tal forma se pueda brindar una información más detallada del tema de estudio a las instituciones interesadas.

1.2 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

(Trejo Vásquez et al., 2012), **Método Propuesto para Estimar la Altura de la Capa de Mezcla en la Atmósfera, con Ayuda de la Aviación**, la presente investigación muestra un procedimiento, basado en un desarrollo matemático propio, el cual es aplicado al método de Holzworth, para estimar la altura de la capa de mezcla en la atmósfera utilizando **datos proporcionados por aviones comerciales**. Se obtuvo como conclusión que por medio del procedimiento presentado en este artículo es posible, con ayuda de la aviación comercial, obtener a bajo costo, un gran número de datos de utilidad para estimar la altura de la capa de mezcla de los contaminantes en la atmósfera.

(Rodríguez Valdez et al., 2006), **Variación de la Estabilidad y Altura de la Capa de Mezcla en la Ciudad de Pinar del Rio: Su relación con Condiciones Sinópticas**, El estudio se realizó en la ciudad de Pinar del Río en Cuba durante el período 2006-2010, donde se analizó el comportamiento de la estabilidad atmosférica y altura de la capa de mezcla. Para obtener la categoría de estabilidad atmosférica se utilizó la clasificación de acuerdo a la longitud de Monin-Obukhov. La metodología para calcular la altura la capa de mezcla, estuvo basada en el procedimiento establecido en el preprocesador meteorológico AERMET. Además se caracterizaron los comportamientos de la estabilidad atmosférica y altura de la capa de Finalmente se muestran la variación horaria y mensual de la estabilidad atmosférica y de la altura de la capa de mezcla. Se pudo determinar que las mejores condiciones para la dispersión y el mezclamiento de **los** contaminantes en la atmósfera ocurren en los meses de verano.

(Undurraga Peralta 2010), **Desarrollo de la Capa de Mezcla en Santiago: Análisis Observacional y Comparación con Modelo de Mesoescala,** El desarrollo de la capa de mezcla diurna en Santiago se documenta en este estudio, usando datos de un nefobasimetro ubicado en el centro de esta ciudad, para un periodo de 9 meses. Para complementar el análisis se utilizan, además, datos de estaciones meteorológicas

automáticas ubicadas en la cuenca de Santiago. La altura de la capa de mezcla en Santiago, el cual tiene buenos resultados durante días mayormente despejados y con una significativa concentración de partículas en el aire. Este análisis muestra que la altura de la capa de mezcla a las 14 horas, fluctúa entre los 400 metros durante otoño – invierno y los 700 metros durante primavera – verano.

***(Núñez Crespi, 2001),* Altura de la Capa de Mezcla: Caracterización Experimental y Aplicación de un Modelo Meteorológico para el Estudio de su Evolución Diurna**, esta memoria ha estado dedicada al estudio de la capa de mezcla atmosférica, concretamente, a la investigación de cómo evoluciona a lo largo del día el espesor de esta capa dependiendo del marco sinóptico en el que se desarrolla, los escenarios meteorológicos analizados han sido los siguientes: (I) Depresión en las islas británicas, (II) baja térmica peninsular, (III) anticiclón europeo, entre otros.

(Román Sánchez, Silva Cotrina, et. al 2012),* Evaluación de la Calidad del Aire en Lima Metropolitana 2012, pág. 27**; La variación mensual de la capa de mezcla a sido **medida con el sistema de radiosondeo en el Aeropuerto Jorge Chávez**. La capa de mezcla es la porción del aire influenciada por la superficie terrestre ***(Ayra, 1976). En el litoral de Lima, el valor de la capa de mezcla varía de 225 metros en el mes de abril a 1085 metros en el mes de julio. La altura de la capa de mezcla es baja durante los meses de verano debido a la disminución de la intensidad del anticiclón del pacifico sur, contrario a lo que sucede en los meses de invierno, donde el anticiclón se intensifica generando una mayor actividad del afloramiento marino, lo que conlleva al enfriamiento de un mayor espesor de capa atmosférica por sobre la superficie.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 PLANTEAMIENTO TEORICO DEL PROBLEMA

2.1.1 DEFINICIÓN DE LA CAPA LÍMITE

Aparentemente, la altura de la capa de mezcla o capa límite parece una variable sencilla. Frente a otros términos meteorológicos, su nombre no sugiere que le acompañe una compleja definición teórica ni parece existir, a priori, una gran dificultad en determinar cuantitativamente el nivel hasta el que se produce mezcla turbulenta en el aire. Sin embargo, este parámetro esencial en la modelización atmosférica presenta una enorme dificultad en su correcta estimación, no existiendo unanimidad científica hasta la fecha, sobre el mejor y más exacto procedimiento de cálculo del espesor de mezcla atmosférico ***(William Froude et al., 1993).***

De todas las definiciones que existen en la bibliografía, se considerará el término capa límite o capa de mezcla indistintamente como *el estrato de aire en el que la turbulencia atmosférica originada por desequilibrios térmicos o mecánicos, produce una intensificación de los movimientos caóticos del aire, favoreciendo el fenómeno de difusión y transporte de energía y materia hasta un nivel delimitado normalmente por la presencia de una discontinuidad térmica, a partir de la cual, el comportamiento de la atmósfera no está sujeto a dichos intercambios turbulentos, además dependerá de las condiciones de la atmósfera, en particular de la clase de estabilidad, de la radiación solar, de la velocidad del viento y del tipo de terreno. (****Sylvia Núñez et al., altura de la capa de mezcla: caracterización experimental y aplicación de un modelo meteorológico para el estudio de su evolución diurna, 2002).***

2.1.2 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA CAPA LÍMITE

La naturaleza de la capa límite condensa una enorme complejidad. En dicha capa, el régimen turbulento domina los movimientos del aire y la aportación energética del sol es un componente determinante que regula el ciclo diario de su evolución. Los cambios de sus grados de estabilidad, su capacidad dispersiva y su estructura vertical son algunas de las características que definen y diferencian este estrato de aire de la atmósfera libre. ***(Sylvia Núñez et al., altura de la capa de mezcla: caracterización experimental y aplicación de un modelo meteorológico para el estudio de su evolución diurna, 2002).***

2.1.2.1 TURBULENCIA

La mezcla que se desarrolla en las capas bajas de la atmósfera está íntimamente relacionada con el carácter turbulento de la misma. Existen algunos casos muy excepcionales en la Naturaleza en los que la mezcla se produce por difusión molecular bajo regímenes laminares, pero mayoritariamente, el mecanismo de mezcla más frecuente y eficaz en la atmósfera es el que tiene lugar cuando el régimen es turbulento ***(Sylvia Núñez et al, 2002).***

Por otra parte, los procesos turbulentos que se manifiestan en la capa límite presentan un carácter difusivo y disipativo. El carácter **difusivo** de la turbulencia es una de las propiedades más importantes en dicha capa, ya que es precisamente la difusividad lo que facilita la mezcla de las distintas propiedades del aire y de los vertidos que en las capas bajas se producen. Las consecuencias asociadas a las emisiones de contaminantes por la actividad humana están íntimamente relacionadas con esta propiedad de la turbulencia atmosférica en la capa límite. Un ejemplo de ello se produce con elevada frecuencia en nuestras latitudes a lo largo del año tanto en los periodos invernales, bajo situaciones de gran estabilidad, como durante el verano, cuando los procesos fotoquímicos favorecidos por las condiciones meteorológicas pueden determinar situaciones de riesgo para la salud

humana. En estos casos, el conocimiento de la capacidad difusiva de la atmósfera juega un papel primordial. ***(Sylvia Núñez et al, 2002)***

El carácter **disipativo** de la turbulencia puede ser observado y medido a diario de forma directa. El ciclo diario de activación y disipación de la energía turbulenta asociada a la actividad solar es una de las manifestaciones más evidentes de la naturaleza turbulenta de nuestra atmósfera. La conclusión que se deriva de esta propiedad es el hecho de que para que esta activación turbulenta tenga lugar, es necesario un **suministro continuo de energía** ya sea por **vía mecánica** o por **vía térmica**. ***(Sylvia Núñez et al, 2002)***

2.1.2.2 ESTRUCTURA VERTICAL

La estructura vertical esquemática de la capa límite o capa de mezcla incluyendo los **factores térmicos** a la vez que los **mecánicos**, presenta varias diferencias respecto del esquema representado en la figura N° 02. Bajo estas condiciones, tanto los efectos de la rugosidad de la superficie, como otras propiedades asociadas a los cambios térmicos, son transmitidos verticalmente a través del mecanismo de mezcla turbulenta **(Yagüe, 1992).** Es de suponer, por tanto, que la unión de estas dos contribuciones proporcione espesores de mezcla mayores a los que se obtenían considerando solo los efectos mecánicos. Pero además, la inclusión del factor térmico provoca la aparición de fuertes inestabilidades o **células convectivas** lo que lleva asociado, en ocasiones, la aparición de nubes de desarrollo vertical próximas a inversiones térmicas en altura*. En estos casos, siempre y cuando puedan realizarse medidas en altura, el espesor de la capa de mezcla puede estimarse mediante la detección de la base de las **nubes convectivas** o de las bases de las inversiones proporcionando, de esta forma, lo que parece ser un método relativamente sencillo para estimar este valor.*

2.1.3. GRADIENTES ADIABÁTICOS

A. Gradiente adiabático seco.

Una parcela de aire seco que se expande cuando asciende (ya que va ingresando en regiones de presión más baja situadas por encima de la misma), y no realiza intercambios de calor con el resto de la atmósfera circundante (proceso adiabático), sufrirá un enfriamiento.

Por contra, si desciende de forma adiabática, se contraerá (ya que ingresa en regiones de mayor presión) sufrirá un calentamiento.
El valor usual de dicho Gradiente Adiabático Seco, es 9,8 grados por cada kilómetro. Es decir, aproximadamente 1 grado de disminución (aumento) por cada 102 metros de elevación (descenso). Exactamente es 1 grado por cada 101,8 metros).

Téngase en cuenta que este gradiente puede utilizarse también con aire húmedo, siempre que no haya saturación. Si la parcela de aire tiene una cierta cantidad de vapor de agua, el Gradiente Adiabático Seco no podrá utilizarse por encima del nivel en el que dicha parcela se satura. **(Compendio de Meteorología, Vol. 1, Parte 2. B.J. Retallack. OMM. Recuperado de http://meteoares.blogspot.pe/2010/08/que-son-los-gradientes adiabaticos.html).**

B. Gradiente adiabático saturado.

Si durante el ascenso de la parcela de aire, la expansión adiabática conlleva que el vapor de agua se condense (con la consiguiente liberación del calor latente: 540 cal/gramo) y, por tanto, la temperatura de dicha parcela disminuya. Sin embargo esta disminución de temperatura será menor que en el caso anterior ya que la liberación del calor latente compensa el enfriamiento adiabático que sufre la parcela. Así pues, la variación de la temperatura con la altura es menor que la del aire seco, o del aire húmedo no saturado, y en una cantidad tal que depende de la latitud y de la presión. En los niveles más bajos de la atmósfera y en las latitudes templadas el Gradiente Adiabático saturado es aproximadamente la mitad que el Gradiente Adiabático Saturado

C. Gradiente vertical de temperatura

El gradiente vertical de temperatura se define como el gradiente en el que la temperatura del aire cambia con la altura. El verdadero gradiente vertical de temperatura de la atmósfera es aproximadamente de 6 a 7 °C por km (en la troposfera) pero varía mucho según el lugar y la hora del día. Una *disminución* de temperatura con la altura se define como un gradiente vertical negativo y un *aumento* de temperatura con la altura como uno positivo. Entonces ¿***Por qué disminuye la temperatura en el aire de la troposfera al subir de altura?*** La causa principal de este fenómeno, conocido como gradiente vertical de temperatura, es la **superficie terrestre**, que actúa como un foco calorífico, **desprendiéndose del calor recibido** por la radiación solar y transmitiéndola a la capa de aire más cercana a ella. Así, cuanto más lejos esté una capa de aire de dicha superficie, más fría estará. Sin embargo, en ocasiones se da un aumento de temperatura con la altura, fenómeno que se conoce como inversión térmica.

El comportamiento de la atmósfera cuando el aire se desplaza verticalmente depende de la estabilidad atmosférica. Una atmósfera estable resiste la circulación vertical; el aire que se desplaza verticalmente en ella tiende a regresar a su posición inicial. Esta característica de la atmósfera le confiere la capacidad de dispersar los contaminantes emitidos al aire. Para comprender la estabilidad atmosférica y su importancia en la dispersión de la contaminación, es fundamental al entender los **mecanismos de la atmósfera** porque están relacionados con la circulación atmosférica vertical. **(Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS, Conceptos básicos sobre meteorología de la contaminación del aire. Recuperado de http:// www.bvsde.paho.org/cursoa_meteoro/lecc4/lecc4_1.html)**

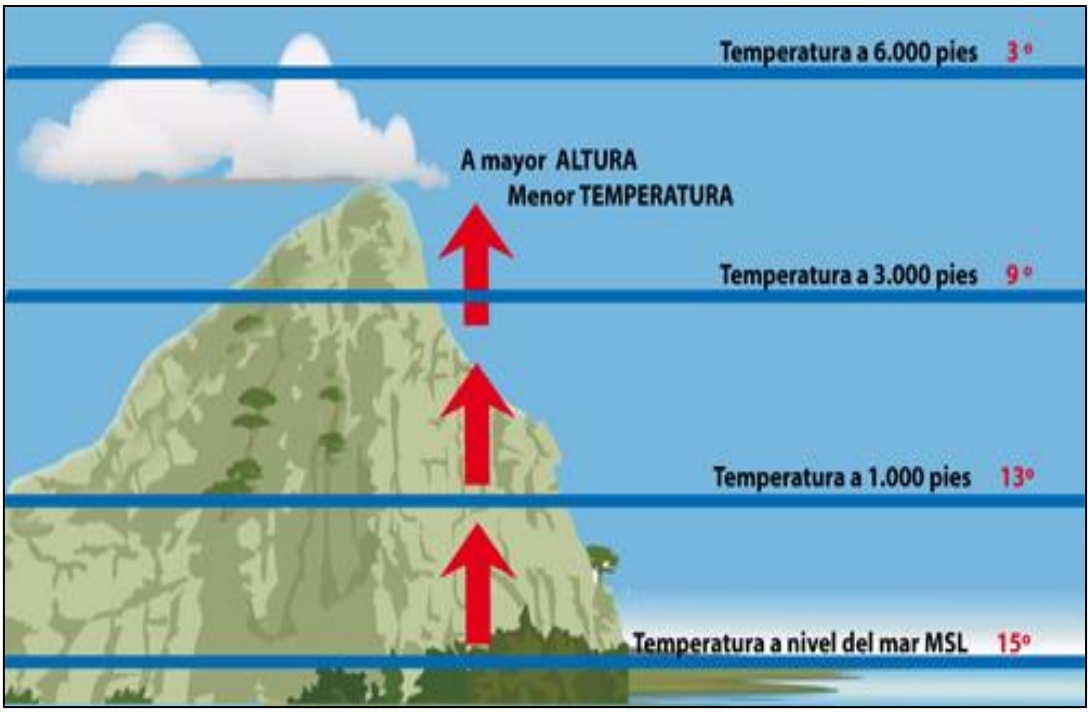


Figura 1: Variación de la temperatura con la altitud

Fuente: *C.E.I.P. Maestro don Pedro Oros. Recuperado de https://clasedesocialesoros.jimdo.com/primer-trimestre/capas-de-la-tierra/factores-del-clima-la-distancia-al-mar-y-latitud/*

2.1.4. GRADO DE ESTABILIDAD

Los cambios en el grado de estabilidad es otra de las propiedades de la capa límite. La estructura de esta capa se encuentra directamente influenciada por la fricción y los intercambios energéticos con la superficie terrestre. Es por ello por lo que en la capa límite pueden manifestarse tres estados: estabilidad, inestabilidad y neutralidad Estos tres estados determinan, por otra parte, la evolución diaria del espesor de dicha capa al estar directamente asociados con el ciclo diurno de actividad solar.

A) Condiciones estables

En los últimos años, se han realizado numerosos avances en el conocimiento de la capa límite estable a partir de diversas campañas experimentales llevadas a cabo con instrumentación avanzada de medida continua **(Cuxart et al., 2000).**

Las condiciones de estabilidad 22de la capa límite se manifiestan, normalmente, durante la noche cuando la ausencia de aportación energética del sol provoca la formación de inversiones de temperatura en las proximidades de la superficie terrestre. Bajo estas condiciones, las variables meteorológicas en esta capa estable, manifiestan tener una variación vertical típica con un incremento de su valor desde la superficie terrestre hasta la cima de la inversión que determina el espesor de dicha capa **(Plate, 1982).** La mezcla que se produce en condiciones de estabilidad es considerablemente pequeña.

La formación de este tipo de inversiones térmicas llamadas radiativas suelen estar asociadas a condiciones anticiclónicas con velocidades de viento débiles. Un valor típico del espesor de estas inversiones suele ser del orden de 100 m, aunque puede variar entre los 50 y los 200 m.

La activación turbulenta bien por procedimientos mecánicos o térmicos, o lo que es lo mismo, la presencia de viento o el calentamiento de la superficie terrestre al amanecer, conducirá de nuevo al desarrollo de mezcla, tendiendo a homogeneizar el fluido en toda la capa. Así, la estratificación estable tiende a debilitarse, llegando a desaparecer a partir del momento en el que la mezcla desarrollada comienza a ser intensa **(Beljaars, 1992).**

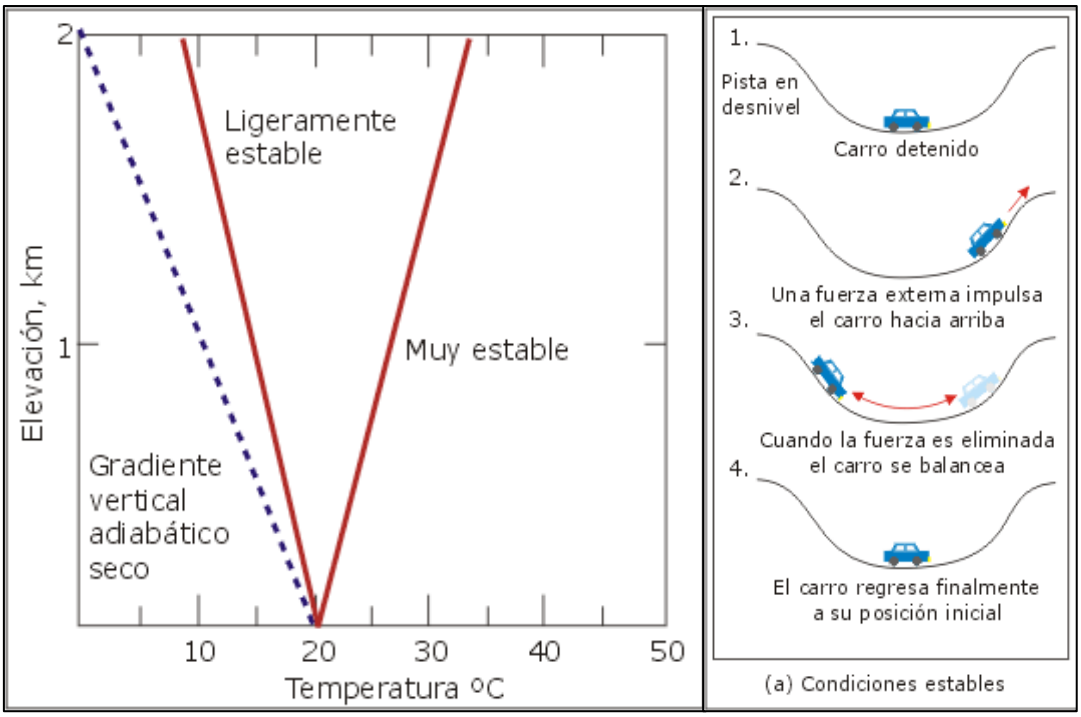


Figura 2: Condición Atmosférica estable

Fuente: *Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente CEPIS, Conceptos básicos sobre meteorología de la contaminación del aire. Recuperado de http:// www.bvsde.paho.org/cursoa_meteoro/lecc4/lecc4_1.html*

B) Condiciones inestables

Las condiciones de estratificación inestables comienzan a manifestarse con la salida del sol, cuando el calentamiento de la superficie terrestre es transmitido hacia la atmósfera destruyendo la inversión radiativa formada durante la noche. Bajo estas condiciones, la capa límite presenta una intensa agitación o mezcla vertical lo que se traduce en un incremento del espesor del volumen de aire afectado por el calentamiento del suelo que llega a alcanzar su máximo valor durante horas centrales del día. La altura máxima de la capa de mezcla depende de varios factores. Suele decirse que este valor es del orden de 1000 m aunque en condiciones de fuerte inestabilidad pueden alcanzarse niveles considerablemente mayores que duplican o triplican este valor.

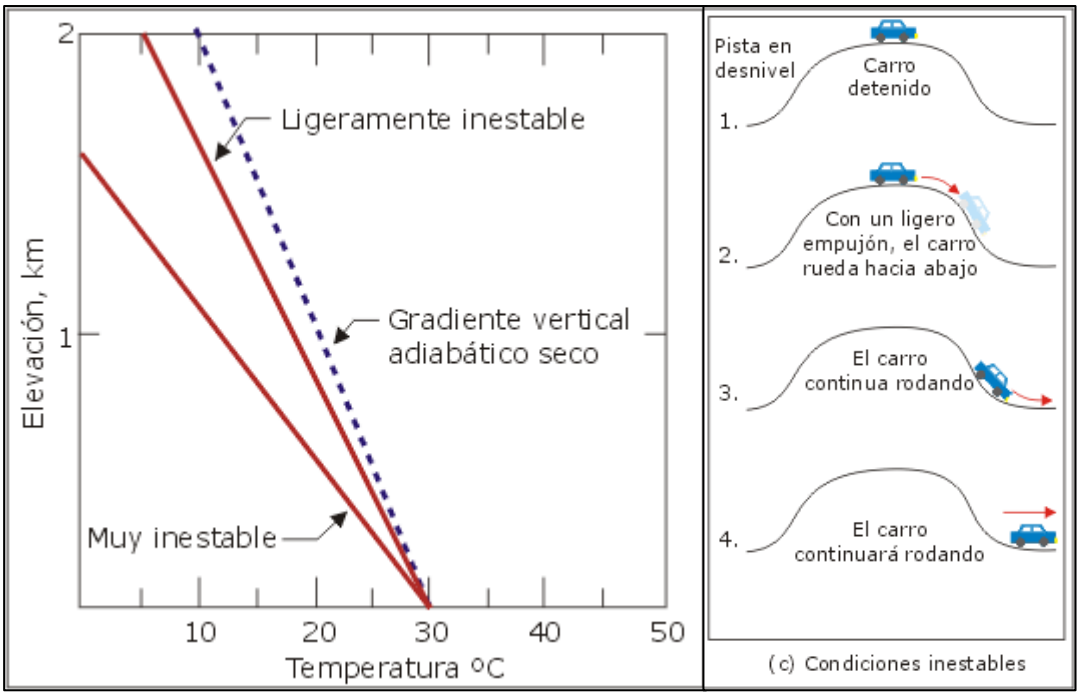


Figura 3: Condición Atmosférica Inestable

Fuente: *(Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS, Conceptos básicos sobre meteorología de la contaminación del aire. Recuperado de http:// www.bvsde.paho.org/cursoa_meteoro/lecc4/lecc4_1.html)*

C) Condiciones neutras

Las condiciones neutras en la atmósfera son menos frecuentes. Suelen estar asociadas a situaciones de fuertes vientos con cielos cubiertos en los que el efecto de transporte del viento y el escaso calentamiento del suelo se traducen en atmósferas de escasa mezcla vertical. Estas condiciones son, sin embargo, sumamente interesantes durante la noche o al final de día cuando el cese de la aportación energética del sol provoca el colapso de la capa de mezcla con una disminución rápida de su espesor, lo que suele traducirse en una estratificación cercana o igual a la neutralidad configurando lo que recibe el nombre de *capa límite residual*. La capa límite residual está constituida por aire en el que ha quedado una actividad turbulenta residual de la capa de mezcla, por esa razón también se la denomina en ocasiones como capa de mezcla débil **(Beljaars, 1992).** Estrictamente hablando, la capa residual no podría considerarse como una capa límite ya que no presenta ningún "contacto" directo con la superficie

terrestre **(Stull, 1988).** En realidad, lo que en dicha capa se manifiesta es el recuerdo de la actividad de mezcla que tuvo lugar antes de la caída del sol. Esta circunstancia ocasiona un estancamiento de los contaminantes emitidos en horas anteriores, los cuales pueden permanecer en la capa residual sin apenas mezclarse hasta el día siguiente. La presencia de contaminación de días anteriores en las capas altas puede sumarse a las nuevas emisiones estancadas de las capas bajas estables durante la ruptura de las inversiones térmicas, aumentando de esta forma los niveles de contaminación por el fenómeno de fumigación **(Zhang y Raó, 1999).**

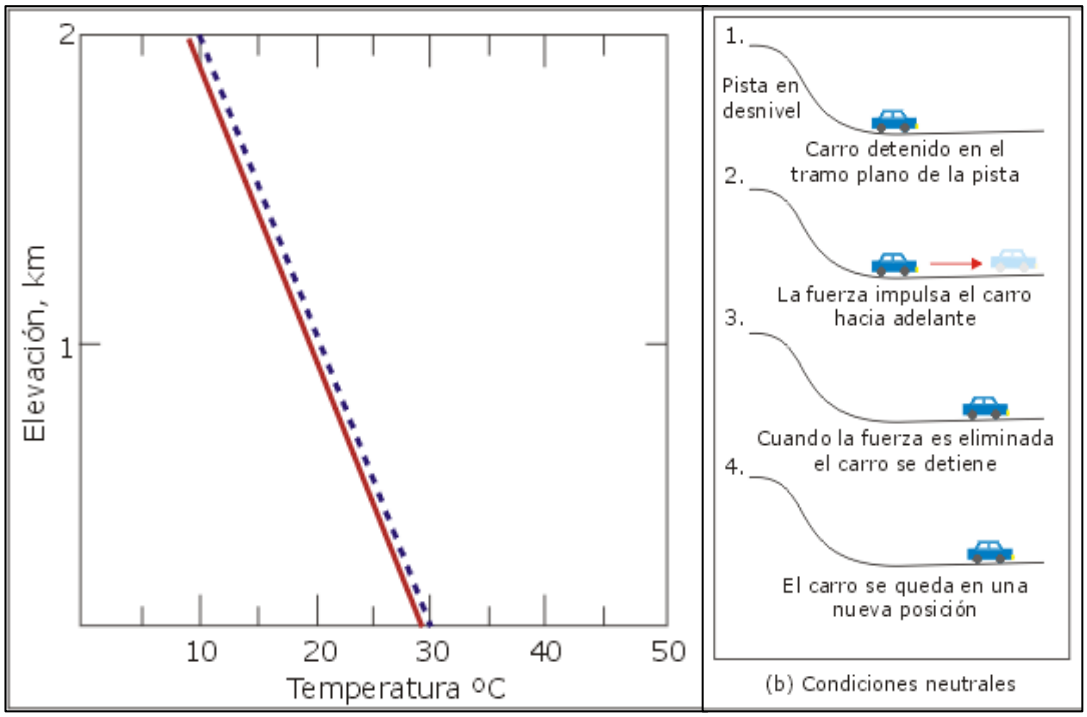


Figura 04: Condición Atmosférica neutra

Fuente: *(Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS, Conceptos básicos sobre meteorología de la contaminación del aire. Recuperado de http:// www.bvsde.paho.org/cursoa_meteoro/lecc4/lecc4_1.html)*

2.1.5 DIFERENCIAS ENTRE LA CAPA DE MEZCLA Y LA ATMÓSFERA L.

Todas estas propiedades de la capa de mezcla son más destacables cuando se comparan con las características del estrato inmediatamente superior, que configura lo que se conoce por atmosfera libre. Entre ambas capas, una discontinuidad de temperatura favorece el desacoplamiento del aire, lo que determina y refuerza las diferencias entre el régimen que caracteriza el aire que se encuentra por encima y por debajo de dicha discontinuidad (**Stull, 1988)**. Básicamente las diferencias más notables entre la capa límite y la atmosfera libre hacer referencia a tres aspectos:

Por un lado, mientras que, como se ha descrito anteriormente, la capa límite es mayoritariamente turbulenta, en la atmósfera libre la turbulencia solo se manifiesta en las nubes convectivos y en la llamada corriente en chorro.

La dispersión que en la capa límite es intensa tanto en la componente horizontal como en la vertical por el efecto de mezcla, es radicalmente diferente en la atmósfera libre. Allí tiene lugar una difusión pequeña a escala molecular y en ella el transporte horizontal se debe a la intensidad del viento medio.

Por último, respecto del espesor de ambas capas, el de la capa límite varía entre los 100 m y los 2000 m a lo largo del día, o incluso puede llegar a ser mayor en algunas condiciones de fuerte convección. Además, suele presentar una onda diurna en su desarrollo debido al intercambio energético con el suelo y manifiesta grandes variaciones con el espacio, como ya se ha visto anteriormente. El espesor de la atmósfera libre no presenta estas variaciones tan acusadas con el espacio y el tiempo y suele variar entre los 8 y 18 km.

2.1.6 CLASIFICACIONES DE ESTABILIDAD ATMOSFÉRICA

El comportamiento de la baja atmósfera, donde discurren las emisiones de contaminantes procedentes de focos puntuales, está determinado por la capacidad de dispersión o dilución de los contaminantes.

Esta capacidad es función de la turbulencia que, bien de origen térmico como mecánico, posibilita una mayor o menor dispersión. Para definir de manera operativa esta capacidad es útil trabajar con el concepto de estabilidad atmosférica y su definición cualitativa como es el de categoría de estabilidad.

Las categorías de estabilidad son indicadores de turbulencia atmosféricos. La turbulencia de la atmósfera se caracteriza en base a un parámetro que se denomina "clase de estabilidad", que es función de la turbulencia térmica y de la turbulencia mecánica.

Las categorías de estabilidad en cualquier momento, van a depender entonces de la:

- **Estabilidad estática** (relacionada al cambio de la temperatura con la altura)
- **Turbulencia térmica** (causada por el calentamiento del aire a nivel del suelo)
- **Turbulencia mecánica** (una función de la velocidad del viento y la rugosidad de la superficie).

Como se señaló anteriormente, la estabilidad de la atmósfera depende de la diferencia de temperatura entre una porción de aire y el aire que la rodea. Por consiguiente, se pueden producir diferentes niveles de estabilidad según cuán grande o pequeña sea la diferencia de temperatura entre la porción de aire y el aire circundante.

Es necesario tipificar las posibles infinitas situaciones de capacidad de dispersión de la atmósfera en un número discreto. La aplicación del concepto de estabilidad atmosférica en los modelos de difusión atmosférica se realiza, como veremos en su momento, de manera diferente a su desarrollo conceptual; pero esta aplicación, basada generalmente en las categorías de estabilidad, parte de estas mismas ecuaciones. Las categorías de estabilidad de **Pasquill- Gifford (ver Tabla 1)** aunque

presentan las desventajas de cualquier tratamiento discontinuo de un fenómeno natural, siguen utilizándose profusamente dado que hay un gran número de correlaciones de parámetros atmosféricos basados en ellas, y son una solución de compromiso cuando no se dispone de sistemas de medida que proporcionen información más concreta sobre estos parámetros (por ejemplo, la turbulencia atmosférica).

Como se mencionó, la atmósfera puede ser estable, neutra, o inestable. Sin embargo, para estimar la dispersión y los propósitos del modelo, estos niveles de estabilidad se clasifican en seis clases basadas en: cinco categorías de velocidad del viento superficial, tres tipos de insolación diurna y dos tipos de nubosidad nocturna.

Se identifican 6 tipos de estabilidad atmosférica según las categorías de **Pasquill- Gifford**, que se calculan en función de la información meteorológica de temperatura, dirección y velocidad de viento y radiación solar. Para condiciones de atmósfera inestable las clases de estabilidad pueden ser A, B o C, para condiciones neutras D, y para condiciones estables pueden ser E o F. Para cielos totalmente cubiertos, tanto de día como de noche, debe considerarse clase de estabilidad D. **(*Jaime Moragues. Clasificación de Estabilidad Capa de Mezcla. Recuperado de www.egrupos.net/cgi-bin/eGruposDMime.cgi?...qlhhyCVWkfb7*).**

Tabla 1: *Categorías de Estabilidad de Pasquill – Gifford*

DIA	A: Muy Inestable
	B: Inestable
	C: Ligeramente Inestable
DIA/NOCHE	D: Neutra
	E: Ligeramente Estable
NOCHE	F: Estable

Fuente: *Jaime Moragues. Clasificación de Estabilidad Capa de Mezcla. Recuperado de http:// www.egrupos.net/cgi-bin/eGruposDMime.cgi?...qlhhyCVWkfb7*

Se clasifica las estabilidades en base a las observaciones efectuadas en las estaciones completas del Servicio Meteorológico Nacional, fundándose en que la estabilidad cerca del suelo depende esencialmente de la radiación solar neta y de la velocidad del viento. La insolación durante el día en ausencia de nubes, depende de la altura del sol sobre el horizonte. La existencia de nubosidad origina una disminución de la energía entrante y saliente, dependiendo esta además, del espesor de las nubes. Durante el día la insolación estimada por la altura solar es modificada por las condiciones de nubosidad, mientras por la noche se tiene en cuenta exclusivamente la nubosidad total.

En la Tabla 2 se sintetiza la definición de las clases de estabilidad para condiciones diurnas y nocturnas, según la radiación solar incidente, para todos los rangos de velocidad de viento.

Tabla 2: Turbulencia de la Atmósfera – Clases de estabilidad

Velocidad del viento (m/s(a 10 m de altura	Día			Noche (2)	
	Radiación solar incidente (1)			4/8 ≤ Nubosidad ≤ 7/8	Nubosidad ≤ 3/8
	Fuerte mayor que 50 calo/cm2 h	Moderada entre 25 y 50 cal/cm2 h	Débil menor que 25 cal/cm2 h		
< 2	A	A – B	B	F	F
2 a 3	A - B	B	C	E	F
3 a 5	B	B – C	C	D	E
5 a 6	C	C – D	D	D	D
> 6	C	D	D	D	D

Fuente: *Jaime Moragues. Clasificación de Estabilidad Capa de Mezcla. Recuperado de www.egrupos.net/cgi-bin/eGruposDMime.cgi?...qlhhyCVWkfb7*

Como puede verse en la Tabla 2 las estabilidades A, B y C representan las horas diurnas con condiciones inestables. La estabilidad D, los días o noches con cielo cubierto con condiciones neutras. Las estabilidades E y F, las condiciones nocturnas estables, y se basan en la cantidad de

cobertura de nubes. Por consiguiente, la clasificación A representa condiciones de gran inestabilidad y la clasificación F, de gran estabilidad.

No siempre se dispone de datos de radiación solar, por ello, según la cantidad y altura de las nubes y el ángulo de elevación solar, se puede calcular el nivel de radiación solar incidente, de acuerdo al cuadro siguiente.

Tabla 3: Nivel de radiación solar incidente en función de la nubosidad

Nubosidad	Angulo de elevación solar (α)		
	60° < α	35° < α ≤ 60°	15° < α ≤ 35°
Nubosidad ≤ 4/8 o Nubosidad a más de 4800 m	Radiación fuerte	Radiación Moderada	Radiación Débil
5/8 ≤ Nubosidad ≤ 7/8 y Nubosidad entre 2100 y 4800 m	Radiación Moderada	Radiación Débil	Radiación Débil
5/8 ≤ Nubosidad ≤ 7/8 y Nubosidad debajo de 2100 m	Radiación Débil	Radiación Débil	Radiación Débil

Fuente: *Jaime Moragues. Clasificación de Estabilidad Capa de Mezcla. Recuperado de www.egrupos.net/cgi-bin/eGruposDMime.cgi?...qlhhyCVWkfb7.*

2.1.7 MASAS DE AIRE

Las masas de aire son fenómenos de escala macro, que cubren cientos de miles de kilómetros cuadrados y se extienden por miles de metros. Son volúmenes de aire relativamente homogéneos con respecto a la temperatura y a la humedad, y adquieren las características de la región sobre la que se forman y desplazan. Los procesos de radiación, convección, condensación y evaporación condicionan la masa de aire a medida que se desplaza. Además, los contaminantes liberados en una masa de aire se desplazan y dispersan dentro de ella. Las masas de aire son más frecuentes en ciertas regiones. Estas áreas se conocen como regiones de

origen y determinan la clasificación de la masa de aire. Las masas de aire se clasifican como marítimas o continentales según tengan su origen en el océano o la Tierra, y como árticas, polares o tropicales según la latitud de su origen. El cuadro 3-1 resume las características de las masas de aire. La figura 3-11 muestra las trayectorias típicas de las masas de aire en Norteamérica. La frontera entre masas de aire con características diferentes se denomina **frente**. Un frente no es una pared marcada sino una zona de transición que muchas veces abarca varias millas. Los frentes se describen posteriormente en esta lección.

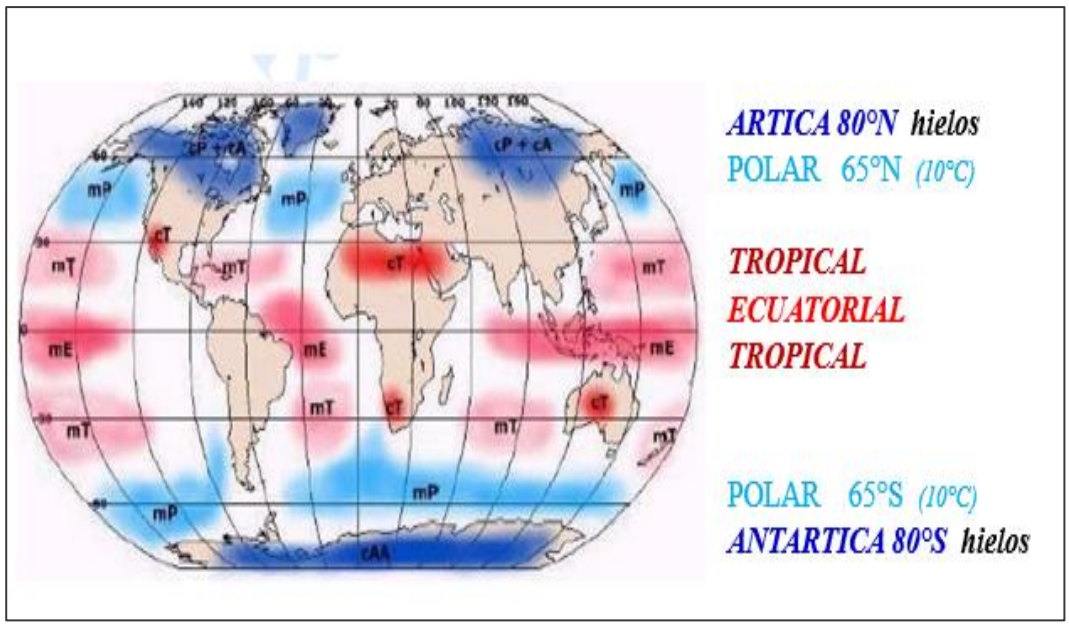


Figura 05: Clases de las masas de aire

Fuente: *(Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS, Meteorología aeronáutica y conocimientos generales de aviación. Recuperado de https://aerocomando.blogspot.pe/2015/08/masas-de-aire-y-frentes.html)*

Tabla 4: Clasificación de las masas de aire

Nombre	Origen	Propiedades	Símbolo
Ártica	Regiones polares	Temperaturas bajas, pero con humedad relativa alta de verano, la más fría de las masas de aire de invierno	A
Polar continental*	Áreas continentales subpolares	Temperaturas bajas (crecientes con el movimiento hacia el sur), poca humedad, permanece constante	cP
Polar marítima	Área subpolar y región ártica	Temperaturas bajas, crecientes con el movimiento, humedad alta	mP
Tropical continental	Áreas subtropicales de presión alta	Temperaturas altas, bajo contenido de humedad	cT
Tropical marítima	Fronteras meridionales de áreas oceánicas subtropicales de presión alta	Temperaturas altas moderadas, humedad alta específica y relativa	mT

La temperatura es una propiedad básica de las masas de aire. La temperatura de una masa de aire depende de la región donde esta se origina. Las masas árticas de aire son las más frías, y las tropicales, las más cálidas.

La humedad es la segunda propiedad básica de una masa de aire. Desempeña un papel significativo en el tiempo y en el clima, y generalmente se trata independientemente de los demás componentes del aire. En cualquiera de sus formas, la humedad atmosférica es un factor de humedad, nubosidad, precipitación y visibilidad. El vapor de agua y las nubes afectan la transmisión de la radiación tanto hacia como desde la superficie terrestre. A lo largo del proceso de evaporación, el vapor del agua también transporta calor latente al aire, lo cual le da una función en el intercambio de calor (así como en el intercambio de humedad) entre la Tierra y la atmósfera. El agua atmosférica se obtiene por evaporación pero se pierde por precipitación. La atmósfera sólo almacena una fracción de minuto del agua terrestre bajo la forma de nubes y vapor. La cantidad neta de agua presente en la atmósfera al final de cualquier período para una determinada región es una suma algebraica total de la cantidad almacenada en un período previo, la ganancia por evaporación, la ganancia o pérdida por transporte

horizontal y la pérdida por precipitación. Esta relación expresa el balance hídrico de la atmósfera.

2.1.8 CAPA DE MEZCLA ATMOSFÉRICA Y CONTAMINACIÓN

Otro de los aspectos interesantes de la capa de mezcla es la relación que existe entre el espesor de este estrato y el nivel de contaminación que se encuentra retenido en esta capa. En la literatura de la contaminación ambiental, la capa de mezcla es considerada como el estrato de aire, a través del cual, los contaminantes liberados desde la superficie terrestre son transportados y difundidos a través de la atmósfera ***(Arya, 1988)*****.** De esta forma, las emisiones que tienen lugar en las capas bajas quedan retenidas en un volumen de aire cuya dimensión vertical está delimitada por la altura de la capa de mezcla. Es por ello, por lo que puede decirse que existe una estrecha relación entre los índices de contaminación atmosférica y el espesor de este estrato del aire. Esta delimitación del volumen de aire en el que pueden mezclarse los contaminantes produce una disminución de la visibilidad en las capas bajas de la atmósfera, lo que es cada vez más evidente en las áreas de influencia de los grandes núcleos urbanos e industriales **(Núñez, 2001).**

Al mismo tiempo, esta definición relativa al volumen de aire en el que pueden mezclarse los contaminantes conduce, en algunos casos, a ciertas confusiones. En algunos trabajos puntuales en el campo de la contaminación atmosférica se destacan las diferencias entre el espesor real de la altura de la capa de mezcla y el espesor del aire que podríamos llamar como *estrato contaminado*. En 1983, R. Aron publicó un interesante artículo en el que destacaba las diferencias entre estas dos capas y consideraba varias razones por las que tales diferencias podrían producirse. Entre ellas, (1) la enorme variación espacial y temporal de la altura de la capa de mezcla que en muchos casos no es considerada en los estudios de contaminación atmosférica, y por último (2) al hecho de que posiblemente el tiempo que los contaminantes necesitan para dispersarse hasta la cima de la capa de mezcla no coincide con la rapidez del cambio que en sí experimenta dicha capa. Por otra parte, es necesario considerar el tipo de fuentes y el ritmo de emisión de los contaminantes cuando se realizan vinculaciones entre la

capa de mezcla y el tope hasta el que alcanza dicha contaminación. Obviamente, el estrato en el que se mezclan los contaminantes coincidirá con el espesor de la capa límite cuando haya transcurrido el tiempo suficiente para que se produzca la dispersión vertical y horizontal completa de dicha contaminación, siempre que no haya fuentes o sumideros significativos, transformaciones químicas, u otros fenómenos meteorológicos que perturben el proceso de homogeneización ***(Seibert et al., 2000).***

2.1.9 PRINCIPALES FUENTES DE CONTAMINACIÓN DEL AIRE

Automóviles, mototaxis y motos lineales

Los automotores representan una fuente importante de contaminación del aire. El parque automotor incluye un numeroso y activo conjunto de vehículos propulsados por la combustión de hidrocarburos (ciclomotores, automóviles y camiones).

Las emisiones procedentes de los escapes de estos vehículos contienen monóxido de carbono, hidrocarburos y óxidos de nitrógeno que son liberados a la atmosfera en importantes cantidades; son los componentes del smog oxidante fotoquímico. Por esta razón las zonas urbanas más pobladas son las que sufren la mayor contaminación de este tipo (**Greco S.)**



Figura 6: Parque automotor en la provincia de Coronel Portillo

Aserraderos

Las industrias de la madera representan una fuente importante de contaminación atmosférica. Las posibles emisiones de los aserraderos, provienen de las calderas. Sin embargo, el aprovechar los residuos de aserrín y viruta como combustible para ser incinerados en las calderas genera emisiones de SO_2, NO_2 y CO_2 a la atmosfera, contribuyendo de esta manera al efecto invernadero.



Figura 7: Aserraderos en la provincia de Coronel Portillo

Ladrilleras

La materia prima para la fabricación de ladrillos no contiene elementos contaminantes porque está constituida básicamente por arcilla con agua y el proceso de cocción consiste en eliminar el exceso de agua de la mas de ladrillo cruda hasta el punto de sintonización de la arcilla donde comienzan los cambios químicos de sus componentes para darle las características de comparación y resistencia.

La industria ladrillera emplea para la manufactura de sus productos combustibles altamente contaminantes como llantas, aceites gastados, madera, aserrín, residuos industriales y material orgánico de desecho; es por eso que los agentes contaminantes de las emisiones gaseosas de este sector productivo son casi en su totalidad los que están presentes en el combustible que se utiliza para la cocción, cuyos componentes son los

siguientes: SO_2, NO_2, Aceites y grasas, partículas sólidas (barro arcilla), H_2SO_4, H_2S. **(Gutiérrez D. 2014)**



Figura 8: Empresas ladrilleras en la provincia de Coronel Portillo

Vías sin afirmar y asfaltar

Además del hollín y el humo de los carros y las industrias que usan diésel no son los únicos materiales particulado que tiene altamente contaminado el aire. También el polvo que se levanta de las vías de transito sin afirmar, que tiene polucionado el ambiente y es otro gran causante de las enfermedades respiratorias en la provincia de Coronel Portillo.



Figura 9: Vías sin afirmar en la provincia de Coronel Portillo

2.2 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

Altura de mezcla: Altura máxima a la cual una porción de aire puede ascender. En un diagrama adiabático, punto en el cual el gradiente vertical adiabático de la porción de aire se intersecta con el gradiente vertical ambiental.

Capa de mezcla: Volumen de aire por debajo de la altura de mezcla. El tamaño de la capa de mezcla determina cuánta contaminación puede ser descargada en el aire sin causar efectos nocivos.

Clases de estabilidad Pasquill-Gifford: Las seis clases que caracterizan los diferentes niveles de estabilidad atmosférica usados para estimar los parámetros de dispersión horizontal y vertical que serán ingresados en la ecuación de distribución gaussiana.

Condiciones Inestables: Recuerde que una porción de aire que empieza a elevarse se enfriará en el gradiente adiabático seco hasta que alcance su punto de rocío, en el que se enfriará en el gradiente adiabático húmedo.

Condiciones Neutrales: Estas condiciones no estimulan ni inhiben el movimiento vertical de aire. La condición neutral es importante porque constituye el límite entre las condiciones estables y las inestables. Se produce durante los días con viento o cuando una capa de nubes impide el calentamiento o enfriamiento fuerte de la superficie terrestre.

Estabilidad atmosférica: El grado de estabilidad atmosférica se determina a partir de la diferencia de temperatura entre una porción de aire y el aire circundante. Este contraste puede causar el movimiento vertical de la porción (esto es, su elevación o caída). Este movimiento se caracteriza por cuatro condiciones básicas que describen la estabilidad general de la atmósfera.

Gradiente Adiabático: El gradiente adiabático es la variación de temperatura que experimentan las masas de aire en movimiento vertical. En condiciones promedio disminuye 6.5 °C por cada 1000 m (-0.65 °C/100m). Sin embargo la humedad afecta este gradiente.

Gradiente vertical adiabática seca: Variación de temperatura que experimenta una burbuja de aire seco (humedad relativa < 100 %) cuando se mueve verticalmente. Su valor aproximado es -1ºC/100 m si asciende (y +1ºC/100 m si desciende, claro).

Inversión de la temperatura: Condición atmosférica en que la temperatura se incrementa con la altitud.

Inversión radiativa: Incremento de la temperatura del aire con la altura debido al enfriamiento radiativo de la superficie terrestre. También denominada inversión nocturna, cuando se produce debido al enfriamiento radiativo que sufre la superficie del suelo durante la noche.

Meteorología de la contaminación del aire: Estudio de la forma como los procesos atmosféricos -tales como el viento y el intercambio de calor- afectan el destino de los contaminantes del aire.

Movimiento vertical de viento: Los movimientos verticales son casi insignificantes comparados con lo horizontales debido a la magnitud, sin embargo favorecen transporte significativo de masa y propiedades a capas superiores o inferiores de la atmósfera, y se deben principalmente a la presencia de ciclones o anticiclones asociados a sistemas de presión en superficie o altura, así como a movimientos turbulentos de masas de aire.

Porción de aire: Es un cuerpo nítido de aire (un número constante de moléculas) que actúa como un todo. Pero al ser independiente, no se mezcla fácilmente con el aire circundante. El intercambio de calor entre la porción de aire y sus alrededores es mínimo y su temperatura, generalmente uniforme. Una porción de aire es análoga al aire contenido en un globo.

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1 DESCRIPCION DEL ÁREA DE ESTUDIO

3.1.1 UBICACIÓN

El área de estudio de la presente evaluación es el espacio aéreo de la provincia de Coronel Portillo, situado en la parte central de la zona oriental del Perú. Principalmente el clima es el perteneciente al bosque húmedo tropical (cálido), generalmente a lo largo del año las temperaturas se mantienen alrededor de los 30°C, sin embargo a partir de los últimos días de agosto se comienzan a registrar temperaturas cercanas a los 38°C, existe muy poca variación entre las temperaturas del día y de la noche, las lluvias son abundantes. La temperatura del aire se registra en el centro poblado Naranjal, como el lugar donde la avioneta alcanza su máxima altura perteneciente a la provincia de coronel portillo con coordenadas UTM 18 L 527543 E; 9104639 N.



Figura 10: Ubicación del área de estudio
Fuente: *Recuperado de http:// http://peru21.pe/actualidad*

3.2 MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

El método de investigación es **descriptivo**, es decir la investigación se realizó mediante la observación para luego describir, analizar e interpretar las características del problema a estudiar fundamentado en la realidad del escenario planteado.

3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.3.1 POBLACIÓN

La población del estudio, es el espacio aéreo de la Provincia de Coronel Portillo, se encuentra ubicada con coordenadas UTM 18 L 549543 E; 9073295 N. La provincia tiene una extensión de 36,236 kilómetros cuadrados y se divide en siete distritos: Calleria, Campoverde, Iparia, Manantay, Masisea, Yarinacocha y Nueva Requena.

3.3.2 MUESTRA

La muestra considerada, es el espacio aéreo de la provincia de Coronel Portillo, donde las avionetas de la empresa NORTH AMERICAN completan su elevación, siendo este de 3000 metros, es decir en el caserío Naranjal con coordenadas UTM 18 L 527543 E; 9104639 N, es en ese punto donde se registra la temperatura del aire por medio de los sensores térmicos de la avioneta, para luego desplazarse de manera horizontal hasta el destino de vuelo programado.

3.4 PROCEDIMIENTOS DE RECOLECCION DE DATOS

Primera etapa: Identificación de las aerolíneas en la ciudad de Pucallpa.

Consistió en la identificación de todas las aerolíneas comerciales, presentes en el aeropuerto internacional Capitán FAP David Abenzur Rengifo, con la finalidad de constatar si alguna de ellas registraba la temperatura del aire a una altura determinada en el espacio aéreo de la provincia de coronel

portillo. Entre las aerolíneas identificadas tenemos: CORPAC - North American S.A, LAN Perú, Star Perú, Peruvian Airlines, LC Perú, Airmajoro.

Segunda etapa: Coordinaciones con los responsables de la Aerolínea comercial.

Se dialogó con los responsables de las aerolíneas identificadas en el aeropuerto de Pucallpa, dando a conocer sobre el trabajo de investigación que se deseaba realizar y el papel fundamental que ellos cumplirían en el desarrollo de este, al brindar información.

Tercera etapa: Obtención de los registros de control de temperatura del aire (T°) a distintas alturas (H).

Habiendo constatado que solo la aerolínea comercial NORTH AMERICAN S.A. registra esos parámetros. Se realizó las coordinaciones respectivas con el responsable de la aerolínea comercial (área de Mantenimiento) con la finalidad de solicitar los registros de temperatura del aire, registrados por su sensor de temperatura, donde completa su elevación (3,000 metros) - caserío Naranjal con coordenadas UTM 18 L 527543 E; 9104639 N

Cuarta etapa: Obtención de los registros de parámetros de la estación meteorológica de la UNU.

Se realizó una visita a la estación meteorológica de la UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI, con la finalidad de solicitar los registros meteorológicos de los meses de enero a diciembre del año 2015, específicamente de las mediciones de temperatura del suelo y la temperatura ambiental, nubosidad, velocidad de viento y temperatura del aire.



Figura 11: Flujograma del procedimiento de Recolección de Datos

3.4.1 TÉCNICA DE CAMPO

La técnica de campo empleado, es la de diarios de campo, debido a que en él se lleva un registro de hora, día, fecha de los fenómenos meteorológicos sucedidos en la provincia de Coronel Portillo, los registros fueron obtenidos de la Estación meteorológica de la Universidad Nacional de Ucayali y la empresa de vuelos comerciales NORTH AMERICAN.

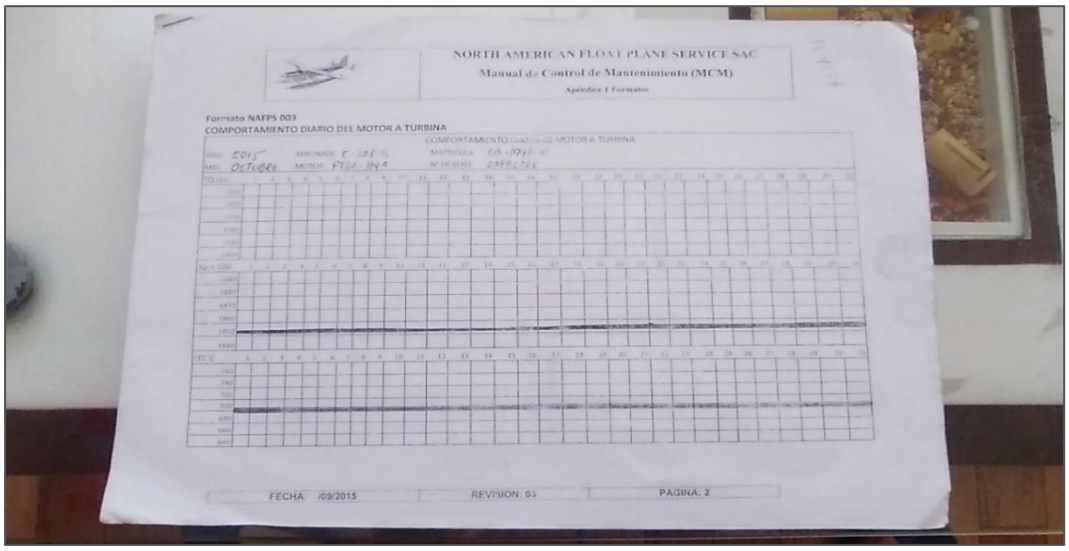


Figura 12: Registros de temperatura del aire de North american

3.5 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA RECOLECCIÓN DE DATOS

3.5.1 MATERIALES Y HERRAMIENTAS

Los materiales empleados para obtener los resultados del grado de estabilidad atmosférica y la altura de la capa de mezcla atmosférica, fueron implementados, mediante el sustitución de datos en las formulas propuestas y los gráficos fueron realizados con Microsoft Excel. Los registros de los datos meteorológicos de superficie: velocidad del viento, temperatura del aire, temperatura del suelo, nubosidad, se obtuvieron de la estación meteorológica, de la Universidad Nacional de Ucayali. Los datos de la temperatura del aire a una determinada altura, se obtuvieron de los registros de la empresa de vuelos NORTH AMERICAN, en la ciudad de Pucallpa.

3.6 PROCESAMIENTO DE DATOS

El procesamiento de datos se realizó, utilizando la metología propuesta por **Wark W, Warner C., (2007). CONTAMINACION DEL AIRE – Origen y Control., México**.

La obtención del gradiente vertical de temperatura se realizó a partir de los registros de temperatura a las alturas correspondientes, donde estos serán proporcionados por la aerolínea comercial NORTH AMERICAN, para lo cual se utilizó la siguiente formula:

$$\frac{dT}{dZ} = \frac{temperatura\ a\ nivel\ del\ suelo - temperatura\ a\ una\ altura\ determ.}{altura\ determinada}$$

Dónde:

$\frac{dT}{dZ}$: Gradiente vertical de temperatura (C°/Km)

Para la estimación de la altura de la capa de mezcla se realizó el reemplazo de dato en la siguiente formula con la finalidad de obtener la altura de la capa de mezcla finalmente e iniciar con las evaluaciones.

$$t°\ del\ momento - \nabla\ ambiental * Z = t°\ establecida - \nabla\ adiabatica * Z$$

Dónde:

$t°\ del\ momento$: Temperatura a nivel del aire (°C)

$\nabla\ ambiental$: Gradiente vertical de temperatura

Z: Altura de la capa de mezcla (Km)

$t°\ establecida$: Temperatura promedio máximo mensual

$\nabla\ adiabatica$: - 9.8 C°/Km

Estos resultados obtenidos fueron sobre el comportamiento de la altura de la capa de mezcla atmosférica, para obtener los resultados mensuales se promedió todos los datos obtenidos de los 12 meses de enero a diciembre del año 2015. Los resultados del comportamiento estacional de la capa,

para esto se agruparon de 03 meses para cada estación (de enero a marzo – verano; de abril a junio – otoño; julio a septiembre – invierno y de octubre a diciembre – primavera) promediando esos datos y obteniendo resultados.

Para la determinación del grado de estabilidad atmosférica en la provincia de Coronel Portillo, se empleó los parámetros meteorológicos de Nubosidad, Velocidad del Viento, los cuales se miden en octavos y metros/segundo respectivamente, cuya información lo encontré en los registros de la estación meteorológica de la Universidad Nacional de Ucayali. El procedimiento empleado es el siguiente: en primera instancia se obtuvo el ángulo de la elevación del sol para la provincia de Coronel Portillo, en las horas de 07:00, 13:00 y 16:00 horas del día, a partir de una página web, donde se muestra la inclinación angular del sol de acuerdo pase las horas **(http://www.sunearthtools.com).** Luego, una vez obtenido el ángulo de inclinación del sol, observamos el comportamiento de la nubosidad (**tabla 03)** de todo el año **2015**, con la finalidad de tener información sobre la intensidad del sol, para así poder clasificar si es radiación fuerte, moderada o débil, ya que en la estación no se cuenta con un equipo destinado para esa función (radiómetro). Obtenido la clasificación de la intensidad del sol; nos dirigimos a la **tabla 02**, y lo relacionamos con la información de la velocidad del viento; siendo así como obtenemos el grado de estabilidad atmosférica para cada día, y las horas de observación en la estación; que va desde Muy Inestable (A) a Estable (F).

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 COMPORTAMIENTO DEL GRADIENTE VERTICAL DE TEMPERATURA

La evaluación del comportamiento estacional del **gradiente vertical de temperatura** en el 2015, para la provincia de Coronel Portillo, se muestra en las Figuras 13 - 16; se observa que el valor del gradiente vertical de temperatura se encuentra de acuerdo a los resultados, en la estación de verano el gradiente es el mínimo, siendo **5.48 °C/Km**, debido a la incidencia de la radiación solar el cual es perpendicular al trópico de capricornio, donde también interviene las precipitaciones intensas típicas de la zona. En la estación de otoño, la gradiente ambiental es de **5.55 °C/Km**, el mismo que se debe a la incidencia de la radiación del sol, el cual es perpendicular al ecuador, incrementando la temperatura del suelo, debido a los días de sol e intensas temperaturas. En la estación de invierno, la gradiente vertical de temperatura es de **5.60 °C/Km**; esto debido a que en el área de estudio, predomina las altas temperaturas y escasa nubosidad, a pesar de que la incidencia de la radiación solar es perpendicular al trópico de cáncer. Caso contrario a lo que sucede en la estación de primavera, donde la gradiente vertical de temperatura, alcanza su máximo valor siendo de **5.97 °C/Km**, producto de la incidencia de la radiación solar el cual es perpendicular al ecuador, la incidencia de la radiación solar conlleva a procesos de convección en la atmósfera, debido al incremento de la temperatura del suelo.

Este comportamiento se debe principalmente a que el área de estudio se encuentra dentro de la zona intertropical, zona donde la atmósfera es más espesa (debido a la zona de convergencia intertropical), ocasionando que la radiación solar sea dispersada o en muchos casos absorbida, por la espesa nubosidad característico de la zona en mención, ocasionando un descenso de la temperatura del suelo e interviniendo directamente en la gradiente ambiental, quien es el principal agente de la transferencia de calor, a las masas de aire superficiales; además se debe tener en cuenta que los rayos solares no llegan por igual a todas partes de la superficie terrestre, esto debido a diversos factores como la latitud, la incidencia de los rayos solares en cual es cambiante

en cada estación, ocasionando que algunas regiones reciban distinta cantidad de luz solar según la época del año.

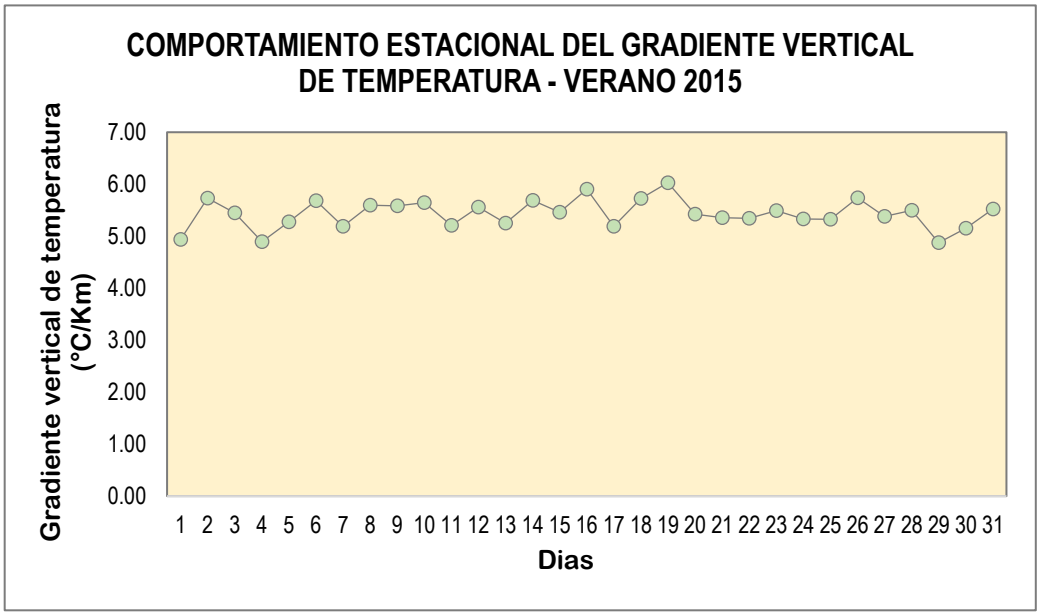


Figura 13: Comportamiento del Gradiente vertical de temperatura en la estación de verano 2015 (enero – marzo)

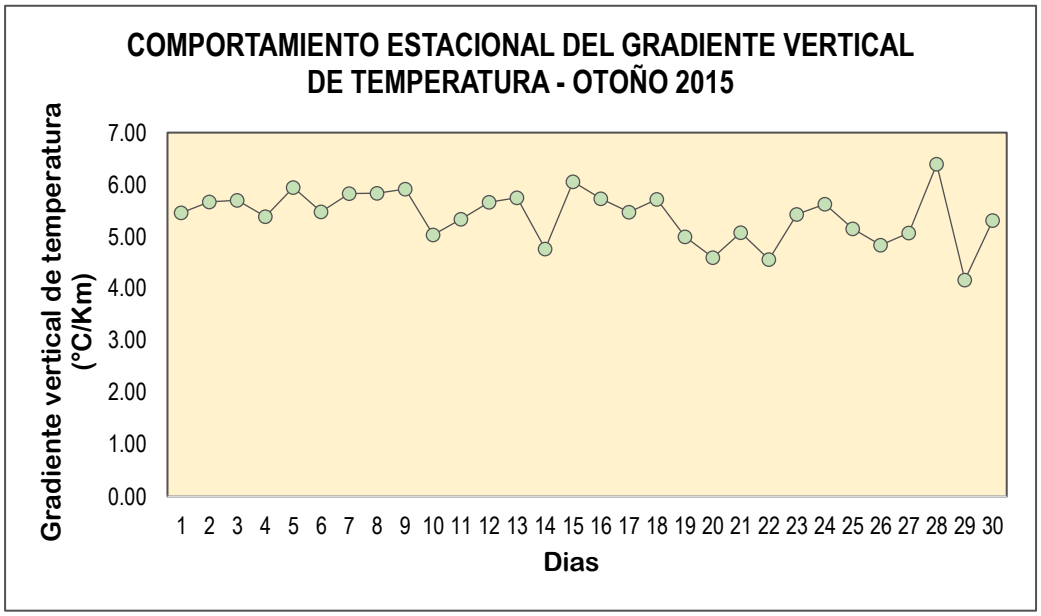


Figura 14: Comportamiento del Gradiente vertical de temperatura en la estación de otoño (abril – junio)

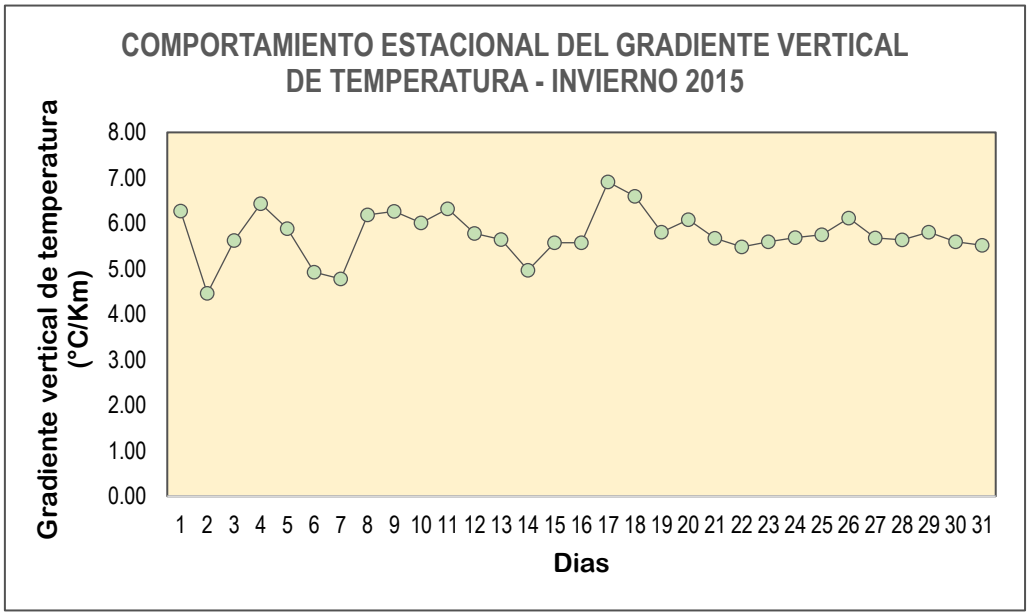


Figura 15: Comportamiento del Gradiente vertical de temperatura en la estación de invierno 2015 (julio – septiembre)

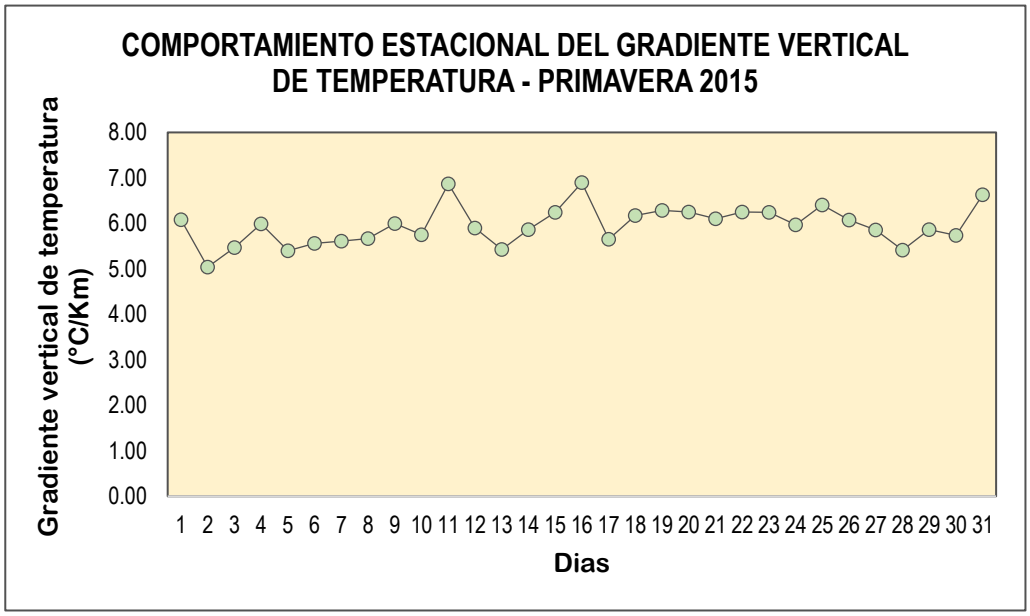


Figura 16: Comportamiento del Gradiente Vertical de temperatura en la estación de primavera 2015 (octubre – diciembre

En la Figura 17, se Podrá observar el resumen del comportamiento estacional del gradiente vertical de temperatura en la provincia de Coronel Portillo – región Ucayali; para el periodo 2015.

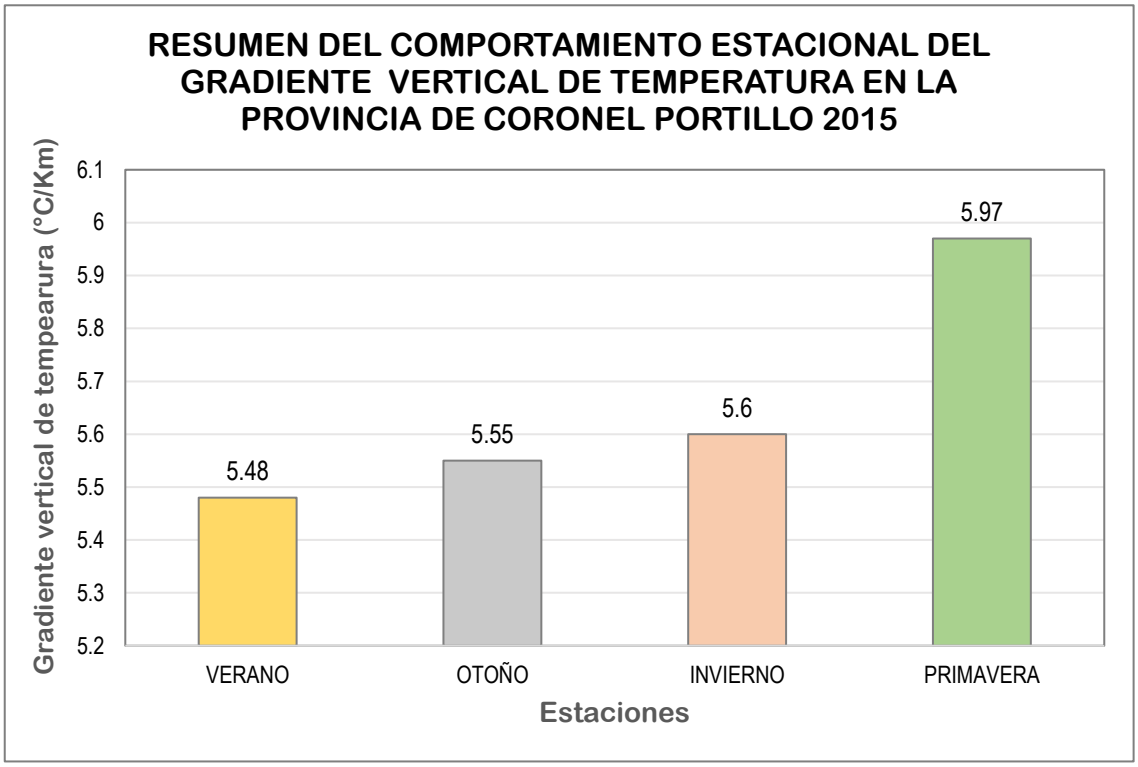


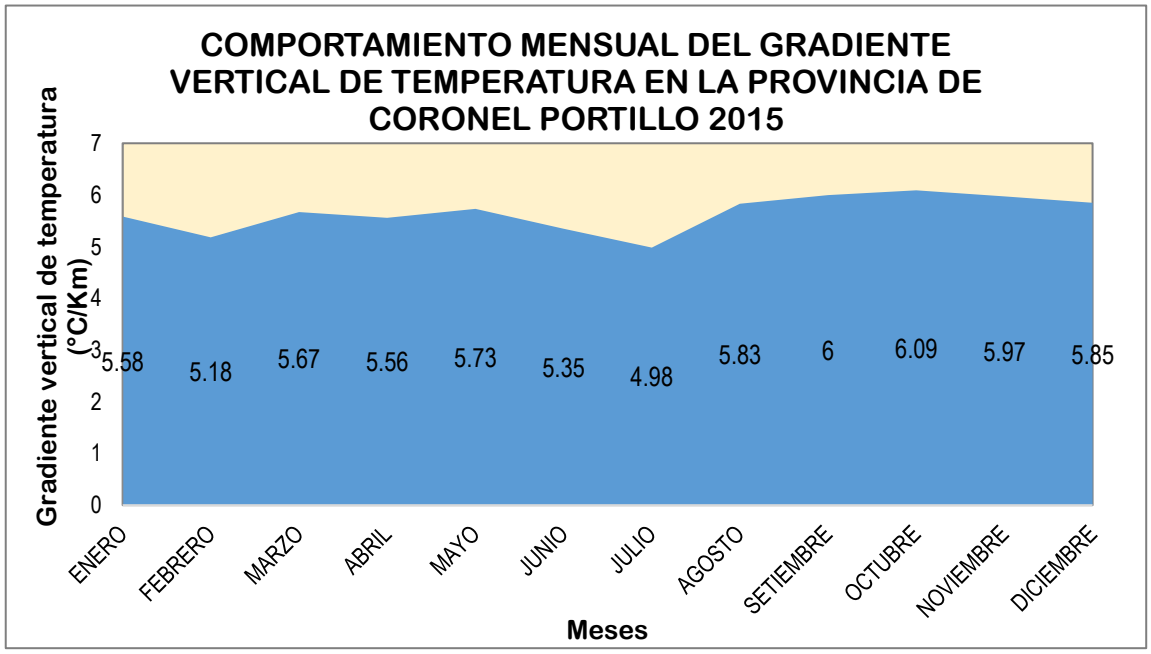
Figura 17: Resumen del comportamiento estacional del gradiente vertical de temperatura 2015

4.1.1 VARIACIÓN MENSUAL DEL GRADIENTE VERTICAL DE TEMPERATURA

La Figura 18, muestra la variación mensual del gradiente vertical de temperatura, utilizando datos de temperatura del aire medida por los sensores de temperatura del avión de la EMPRESA NORTHAMERICAN y datos de temperatura del suelo de los registros de la estación meteorológica de la UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI; los mismos que fueron reemplazados en las procedimientos aritméticos propuestos. En la provincia de Coronel Portillo, el valor de la gradiente ambiental varía de **4.98 °C/Km** en el mes de julio a **6.09 °C/Km** en el mes de octubre, como sus valores mínimo y máximo; como promedio para el periodo 2015, se cuenta con una gradiente vertical de temperatura de 5.65 °C/Kilómetros, es decir 1 °C/Kilometro. Estos resultados obtenidos, se asemejan

a los resultados establecidos por **ANTONIO GODBRUNNER**, donde menciona que en la zona intertropical, sobre todo en las áreas próximas al ecuador (donde Perú se encuentra ubicado), la temperatura disminuye 1 °C/180 metros, es decir 5.55 °C/Kilometro

Las Figuras 19, se muestra el comportamiento mensual de la temperatura del suelo, observando así la presencia de una estrecha relación entre el gradiente vertical de temperatura y la temperatura del suelo.



.Figura 18: Comportamiento mensual del gradiente vertical de temperatura 2015

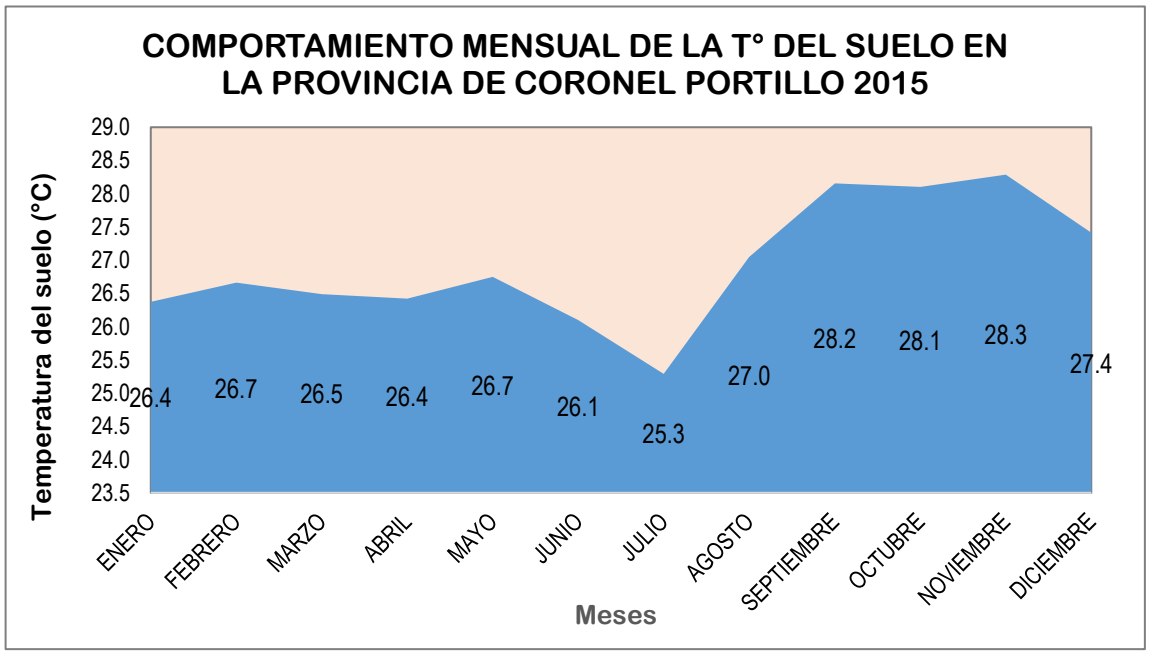


Figura 19: Comportamiento mensual de la temperatura del suelo 2015

4.2 COMPORTAMIENTO DE LA ALTURA DE LA CAPA DE MEZCLA ATMOSFERICA EN LA PROVINCIA DE CORONEL PORTILLO

El estudio del comportamiento estacional del 2015 de la altura de la capa de mezcla atmosférica en la provincia de Coronel Portillo se muestra en la figura N° 20 - 23, obtenida a partir de los datos de temperatura del aire a 3000 metros proporcionado por los sensores de temperatura de la avioneta de la EMPRESA NORTHAMERICAN, donde se observa que en horario diurno el comportamiento de la capa de mezcla atmosférica alcanza, alturas más arriba de los 1300 metros, debido al incremento de la temperatura de la superficie terrestre , provocado por la radiación solar, dando origen al principio de flotabilidad de las parcelas de aire, quienes son diatérmanos, es decir no pueden calentarse al ser atravesados por los rayos solares; sino que estos necesitan de una superficie quien les transfiera calor, volviéndolos más denso, es decir si la temperatura de la parcela de aire es menor que el aire circundante; la porción de aire ascenderá hasta que ambas temperaturas sean las mismas, dando origen al límite de la altura de la capa de mezcla atmosférica.

En la Figura 24, se muestra, el comportamiento estacional de la altura de la capa de mezcla, siendo baja durante los meses de primavera con **1.53 Kilómetros**; debido a la presencia de precipitaciones en la amazonia peruana, contrario a lo que sucede en los meses de invierno, donde la casi nula presencia de precipitaciones y un marcado incremento de la insolación genera un incremento de la temperatura del suelo y por consecuencia un comportamiento de la atmósfera inestable, colaborando con el proceso de flotabilidad de las porciones de aire, originando un incremento del espesor de la capa de mezcla atmosférica por sobre la superficie; siendo de **1.72 Kilómetros**.

De acuerdo a los estudios realizados por **Román Sánchez et al, (2012**), donde menciona que la altura de la capa de mezcla es baja durante los meses de verano, contrario a lo que sucede en los meses de invierno; por tanto podemos acotar que este estudio guarda similitud con nuestros resueltos, por mostrar un comportamiento similar en estas estaciones. En cambio, los estudios de **Undurraga Peralta (2010)**, menciona que durante el invierno registra menores alturas (400 metros), durante el verano registra (700 metros); estos resultados

discrepan con nuestros resultados, debido a que de acuerdo a Undurraga; en invierno alcanza mayor altura y en verano alcanza una menor altura; contradiendose con nuestros resultados encontrados.

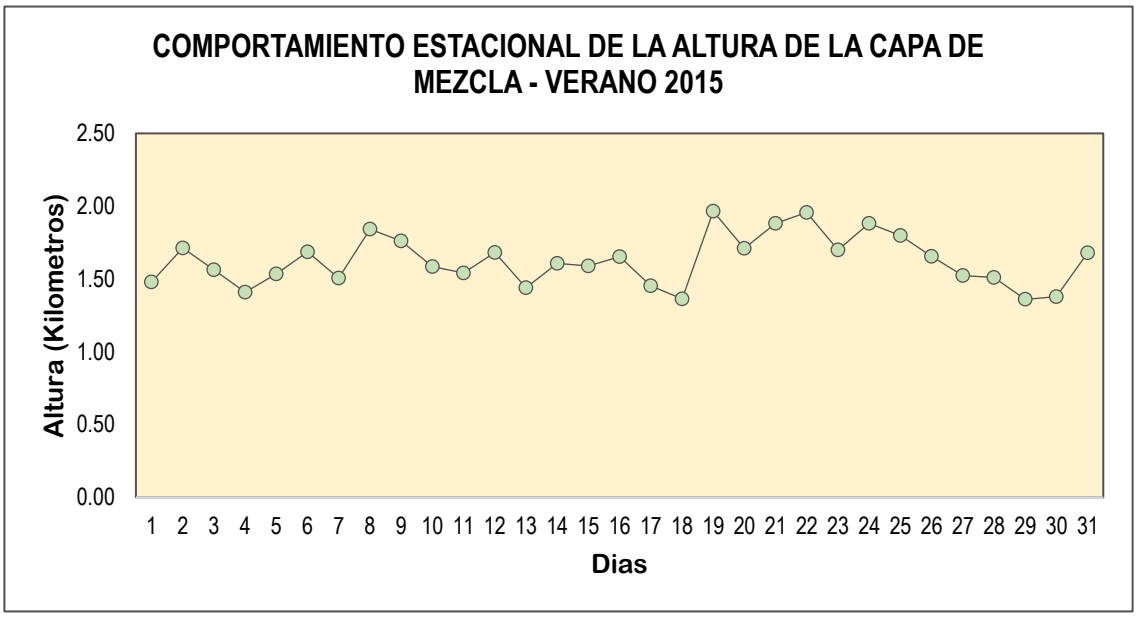


Figura 20: Comportamiento de la altura de la capa de mezcla atmosférica en la estación de verano 2015

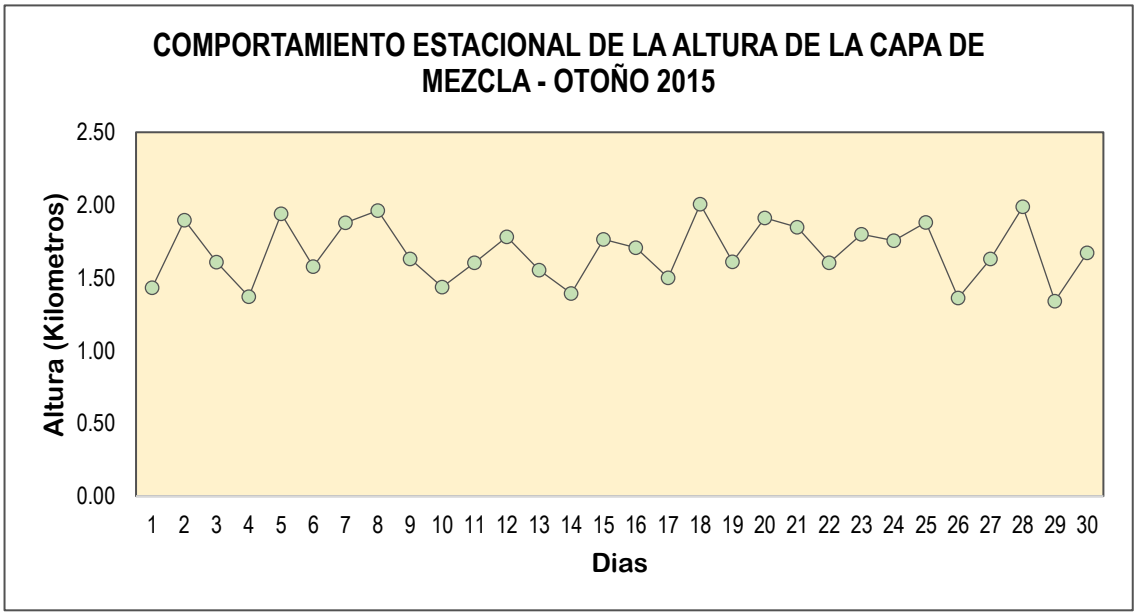


Figura 21: Comportamiento de la altura de la capa de mezcla atmosférica en la estación de otoño 2015

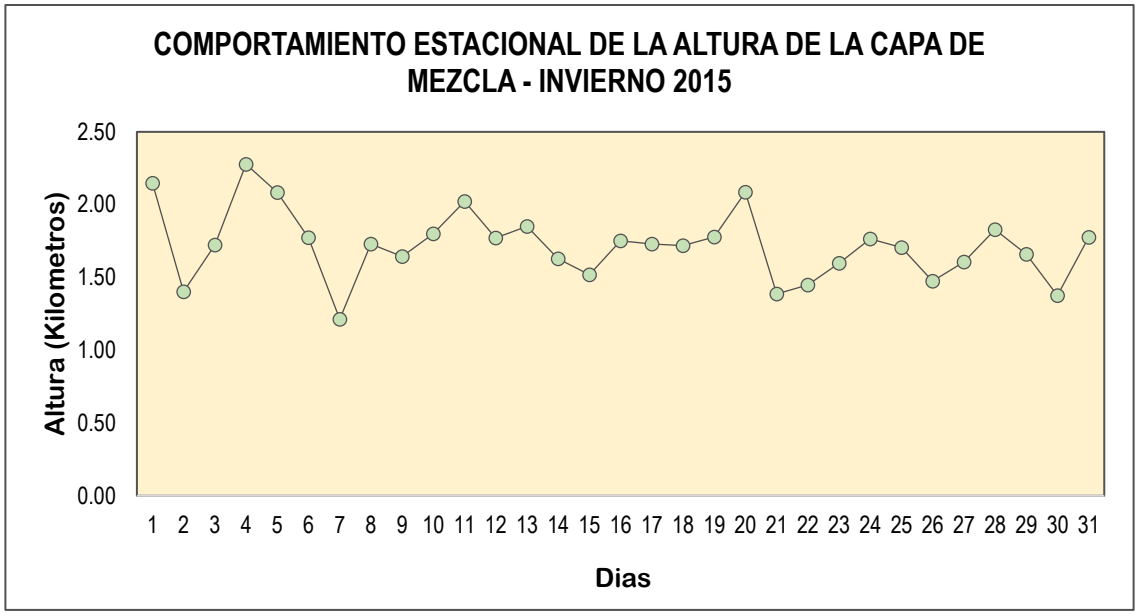


Figura 22: Comportamiento de la altura de la capa de mezcla atmosférica en la estación de invierno 2015

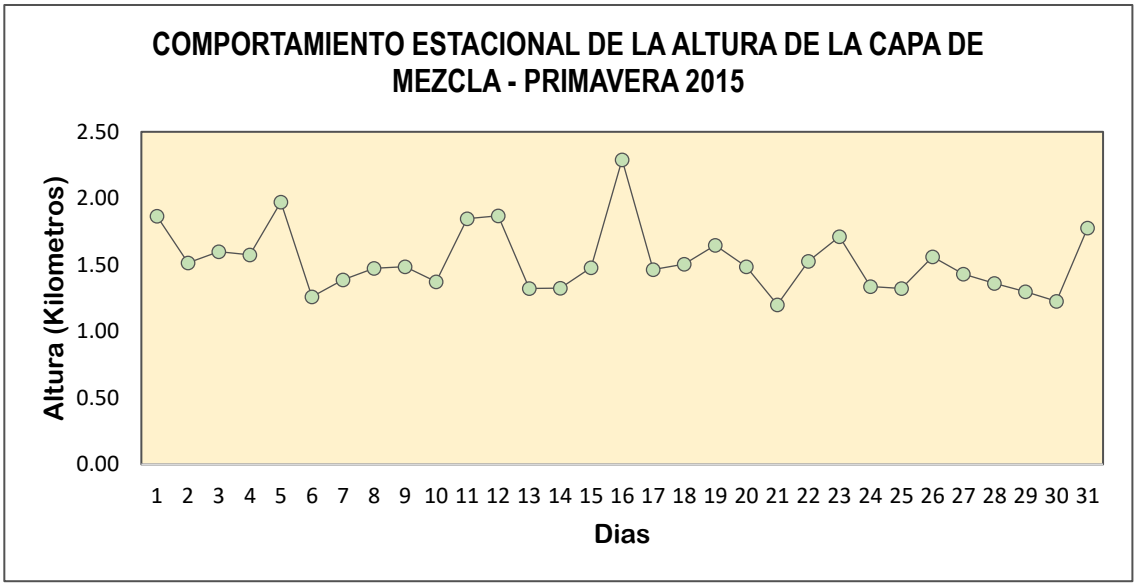


Figura 23: Comportamiento de la altura de la capa de mezcla atmosférica en la estación de primavera 2015

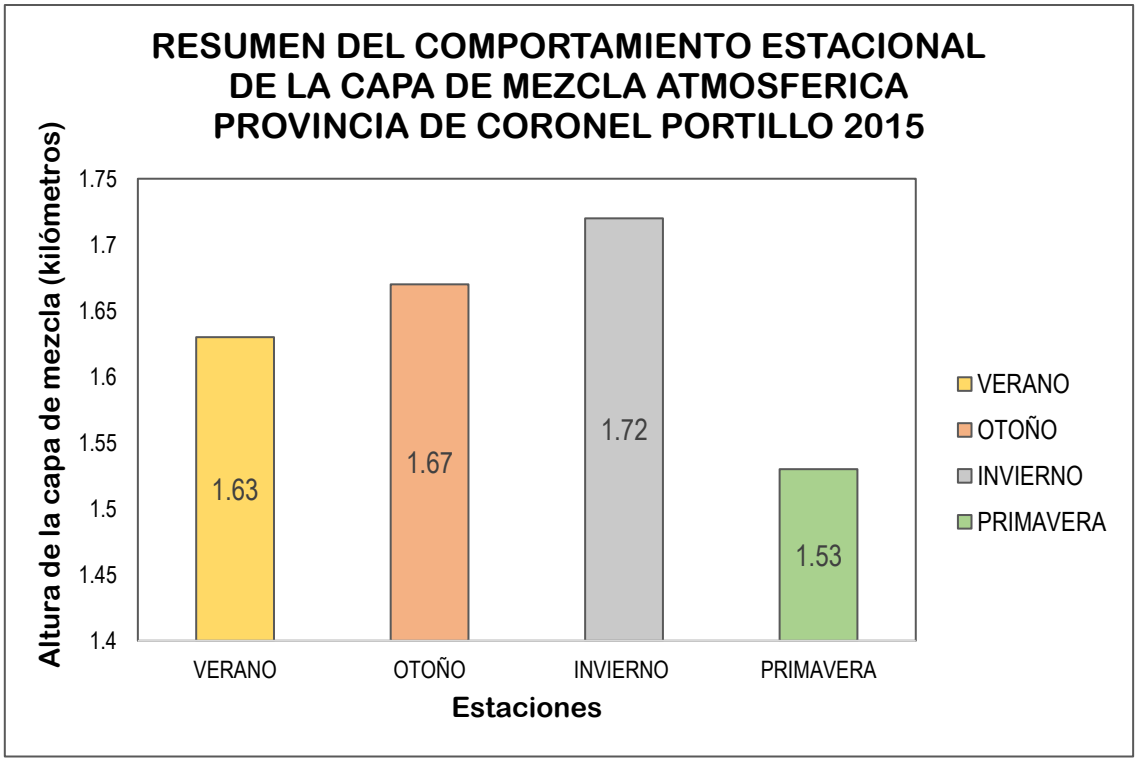


Figura 24: Resumen del comportamiento estacional de la altura de la capa de mezcla atmosférica 2015

4.2.1 COMPORTAMIENTO MENSUAL DE LA CAPA DE MEZCLA

La Figura 25 muestra la variación mensual de la capa de mezcla, obtenido a partir de del consolidado de los resultados del comportamiento diario de la altura de la capa de mezcla **(ver Anexos).** En la provincia de Coronel Portillo, el valor de la capa de mezcla varía de **1380** metros en el mes de noviembre a **1830** metros en el mes de agosto.

De acuerdo a los resultados obtenidos en el estudio realizado por **Rodríguez Valdez et al, (2006);** estos varían significativamente, donde menciona que los menores valores de altura de la capa de mezcla, alcanza en los meses de enero y diciembre, siendo inferior a 500 metros y su máximo valor en mayo siendo 750 metros. Por otro lado **Román Sánchez et al, (2012);** menciona también que el valor de la capa de mezcla varia de 225 metros en abril a 1085 metros en el mes de julio, notándose grandes diferencias respectos a nuestros resultados.

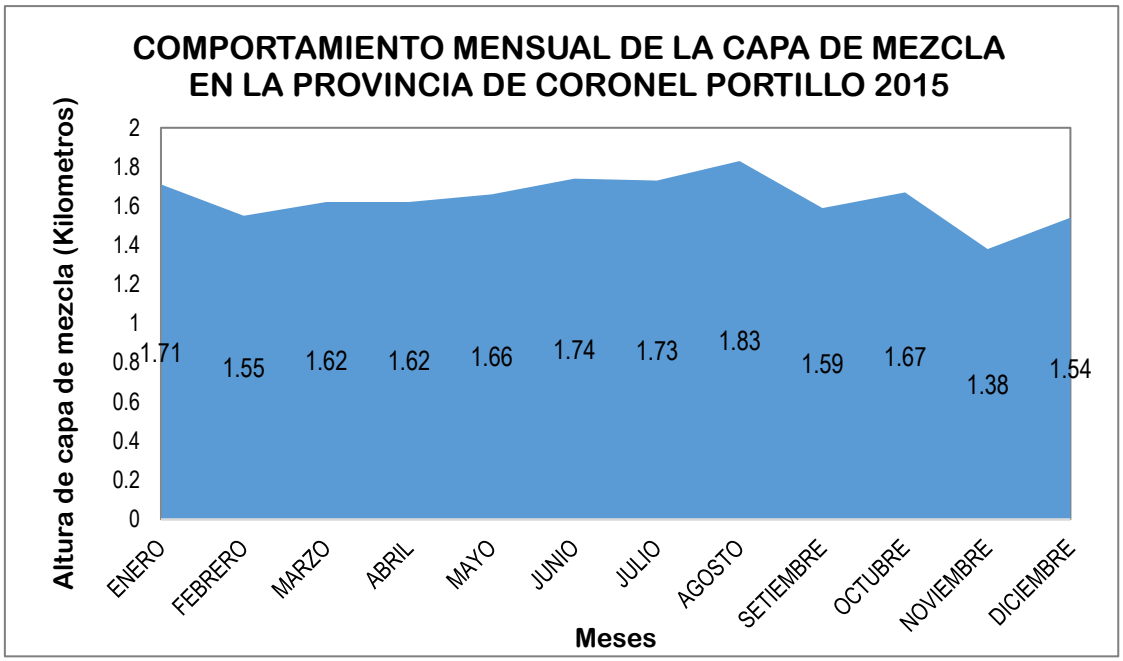


Figura 25: Comportamiento mensual de la Capa de Mezcla Atmosférica

4.3 COMPORTAMIENTO DEL GRADO DE ESTABILIDAD ATMOSFÉRICA

El estudio de la variación horaria de la EA para la provincia de Coronel Portillo, se muestra en la tabla 4, en la cual se observa que en las horas del día solo ocurren las categorías muy inestable (MI), inestable (I), ligeramente inestable (LI) y neutra (N), siendo la categoría inestable, con **603** casos la de mayor ocurrencia, seguido de la categoría ligeramente inestable con **343** casos de ocurrencia, la categoría muy inestable con **118** casos, las demás categorías no alcanzaron los **30** casos de ocurrencia para el periodo analizado de doce meses desde Enero – Diciembre del 2015; no se presentaron casos de una atmosfera estable, debido a que el estudio se realizó en el día. Este comportamiento se debió a que durante el día el sol provoca un aumento gradual de la temperatura del aire superficial y por consiguiente de la turbulencia (movimiento vertical del aire), lo que unido a una mayor presencia de días despejados y con poca nubosidad, hace que el gradiente ambiental se menor que el gradiente adiabático seco, generando la inestabilidad atmosférica a lo largo del día, donde la categoría inestable ejerce mayor predominio.

Tabla 5: Caracterización Mensual del grado Estabilidad Atmosférica en la provincia de Coronel Portillo 2015

	MUY INESTABLES	INESTABLES	L - INESTABLE	NEUTRA	L - ESTABLE	ESTABLE
ENERO	6	47	37	3	0	0
FEBRERO	6	36	34	8	0	0
MARZO	7	47	33	2	0	0
ABRIL	7	57	24	2	0	0
MAYO	5	55	31	2	0	0
JUNIO	27	53	9	1	0	0
JULIO	22	63	8	0	0	0
AGOSTO	11	58	24	0	0	0
SETIEMBRE	5	45	37	3	0	0
OCTUBRE	6	52	35	0	0	0
NOVIEMBRE	4	51	33	2	0	0
DICIEMBRE	12	39	38	4	0	0
	118	603	343	27	0	0

En la Figura 26, se puede observar la cantidad detallada el número de casos mensuales de los grados de inestabilidad atmosférica para un periodo de evaluación enero – diciembre del 2015.

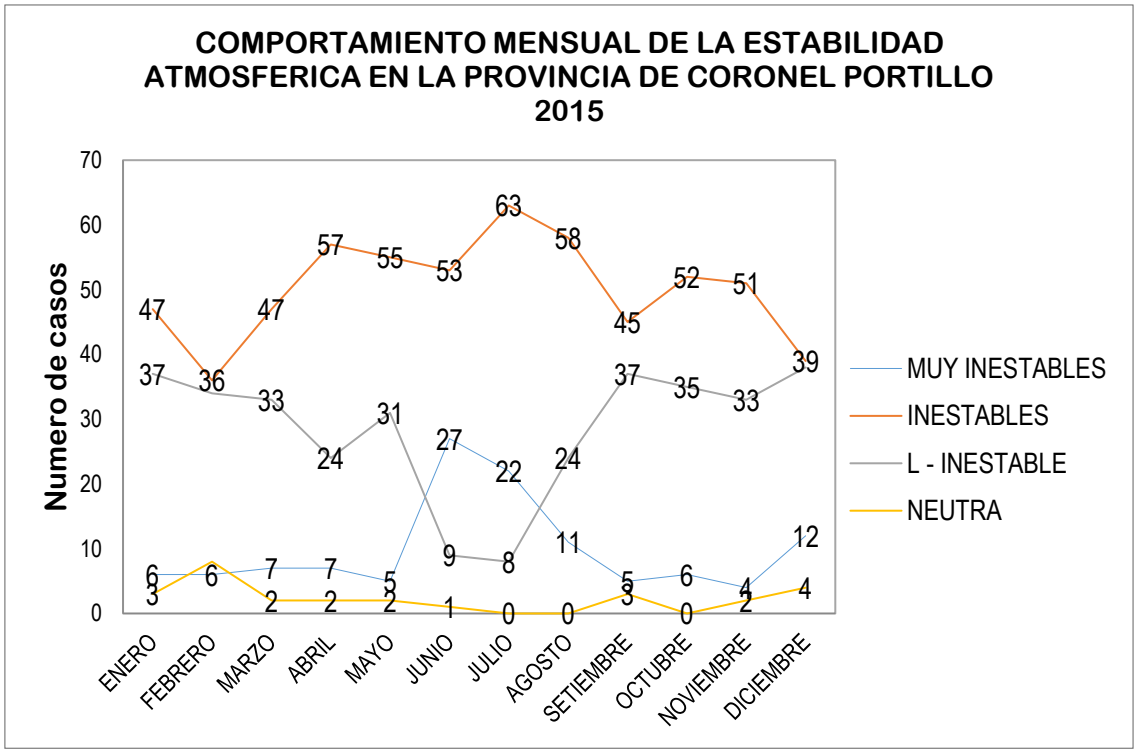


Figura 26: Comportamiento mensual de la Estabilidad Atmosférica en la provincia de coronel portillo 2015

4.3.1 ESTABILIDAD ATMOSFÉRICA A LAS 07 HORAS

La variación mensual de la EA en la provincia de Coronel Portillo a las 7 horas se muestra en la Tabla 5, observándose que solo ocurren en todo el año las categorías: *inestable (I), ligeramente inestable (LI), neutra (N),* solo en algunos meses; siendo la categoría *inestable* que presentó mayor cantidad de casos de ocurrencias **254**, además el que predomina en la mayoría de los meses, provocado por el proceso de irradiación terrestre, el cual se intensifica a lo largo del día. En los meses de junio y julio predomino el comportamiento de la categoría *inestable*, con 28 casos cada uno, esto obedece al comportamiento estacional, teniendo presencia el sol en estos meses, rompiendo así con la EA creada en la noche. La categoría: *ligeramente inestable* (LI) presento un comportamiento muy similar en todo el período 2015 evaluado con **102** casos.

Los resultados presentados por **Rodríguez Valdez et al (2006),** difieren mucho de los resultados obtenidos, al mencionar que durante el día se han presentado solo casos de estabilidad atmosférica entre ello; muy estable, estable y ligeramente inestable, sobrepasando los 130 casos, comportamiento que no se da en la provincia de coronel Portillo, debido a la sola presencia de casos de inestabilidad atmosférica.

Tabla 6: Caracterización de los grados de Estabilidad Atmosférica a las 07 horas

	MUY INESTABLES	INESTABLES	L – INESTABLE	NEUTRA	L - ESTABLE	ESTABLE
ENERO	0	19	12	0	0	0
FEBRERO	0	16	12	0	0	0
MARZO	0	13	13	1	0	0
ABRIL	0	24	6	0	0	0
MAYO	0	15	15	1	0	0
JUNIO	0	28	2	0	0	0
JULIO	0	28	3	0	0	0
AGOSTO	0	26	5	0	0	0
SETIEMBRE	0	23	7	0	0	0
OCTUBRE	0	21	10	0	0	0
NOVIEMBRE	0	22	7	1	0	0
DICIEMBRE	0	19	10	2	0	0
	0	254	102	5	0	0

En la figura 27, se puede observar los resultados obtenidos sobre la evaluación del comportamiento mensual de la estabilidad atmosférica a las 07 horas en la provincia de Coronel Portillo, donde se puede observar que los mayores casos del grado de inestabilidad se dieron en los meses de junio y julio del 2015, con 28 casos cada uno; seguido de los casos con un comportamiento de la atmosfera ligeramente inestable y finalmente los casos de neutralidad, donde no estimula, ni inhibe el movimiento vertical del aire, ocasionando periodos de concentración de contaminantes en la superficie terrestre; no se pueden observar casos de atmósfera muy inestable debido al reciente rompimiento de la inversión radiativa generado en las noches.

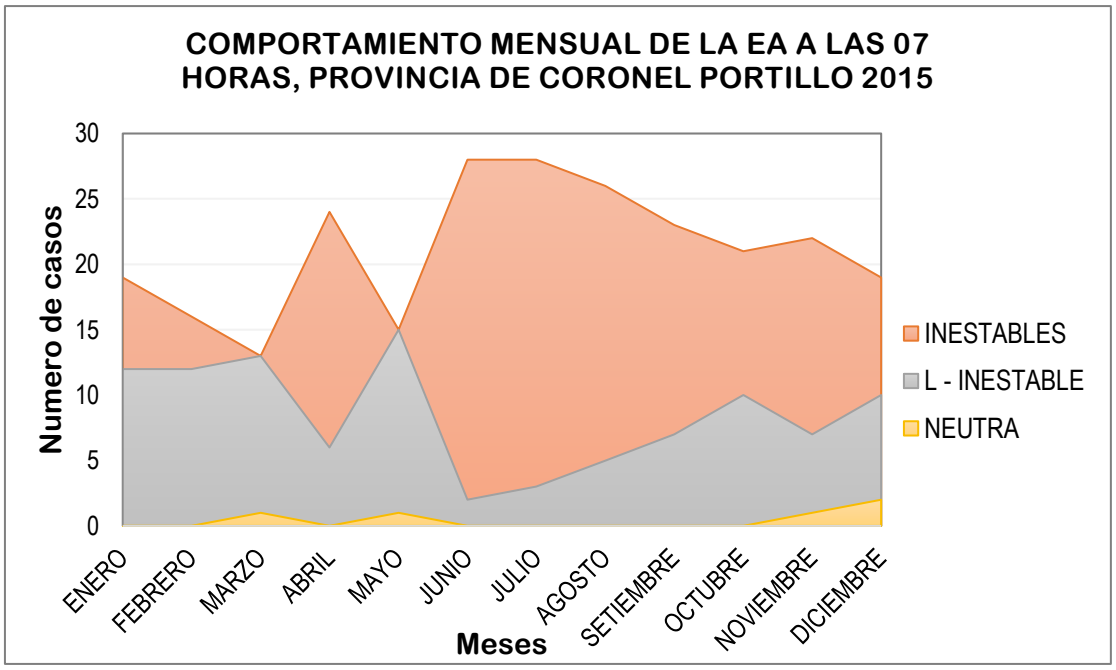


Figura 27: Comportamiento Mensual de la EA a las 07 Horas en la provincia de Coronel Portillo

4.3.2 ESTABILIDAD ATMOSFERICA A LAS 13 HORAS

El comportamiento de la EA a las 13 horas en la provincia de Coronel Portillo, la tabla 6, muestra que además de las categorías presentes en la evaluación del comportamiento de la estabilidad a las 07 horas, ocurrió la categoría: *muy inestable* (MI), donde alcanzó **73** casos de ocurrencia, presentando sus máximos valores en los meses de junio y julio, con 16 y 12 casos respectivamente. Este comportamiento obedece al ciclo diario y estacional, a esta hora el sol tiene la mayor altura sobre el horizonte, lo que produce elevadas temperaturas, generando así un aumento significativo de la turbulencia, fundamentalmente en los meses de invierno, debido a una mayor intensidad de la irradiación y de la luz solar. Las demás categorías que ocurrieron: la *inestable (I*), la ligeramente inestable (LI), el cual aumento de manera gradual en comparación con la evaluación realizada a las 07 horas *y la categoría neutra* (N), con algunos casos de ocurrencia.

Tabla 7: Caracterización de los grados de Estabilidad Atmosférica a las 13 horas

	MUY INESTABLES	INESTABLES	L – INESTABLE	NEUTRA	L - ESTABLE	ESTABLE
ENERO	3	14	11	3	0	0
FEBRERO	2	8	13	5	0	0
MARZO	4	13	13	1	0	0
ABRIL	6	9	13	2	0	0
MAYO	5	18	8	0	0	0
JUNIO	16	11	2	1	0	0
JULIO	12	15	4	0	0	0
AGOSTO	8	14	9	0	0	0
SETIEMBRE	5	4	18	3	0	0
OCTUBRE	5	11	15	0	0	0
NOVIEMBRE	1	13	15	1	0	0
DICIEMBRE	6	10	13	2	0	0
	73	140	134	18	0	0

En la figura 28, se puede observar los resultados obtenidos sobre la evaluación del comportamiento mensual de la estabilidad atmosférica a las 13 horas en la provincia de Coronel Portillo, donde se puede observar que los mayores casos del grado de inestabilidad se dieron en los meses de mayo y julio del 2015, con 18 y 15 casos respectivamente; seguido los casos ligeramente inestable, donde alcanzo 18 casos en el mes de septiembre y finalmente los casos de neutralidad, donde no estimula, ni inhibe el movimiento vertical del aire, ocasionando periodos de concentración de contaminantes en la superficie terrestre; se puede observar que estos casos mostraron más apariciones en varios meses del periodo 2015; a diferencia de la evaluación de las 07 horas, a las 13 horas se pueden observar casos de atmósfera muy inestable debido a la intensa radiación solar, alcanzado en esas horas.

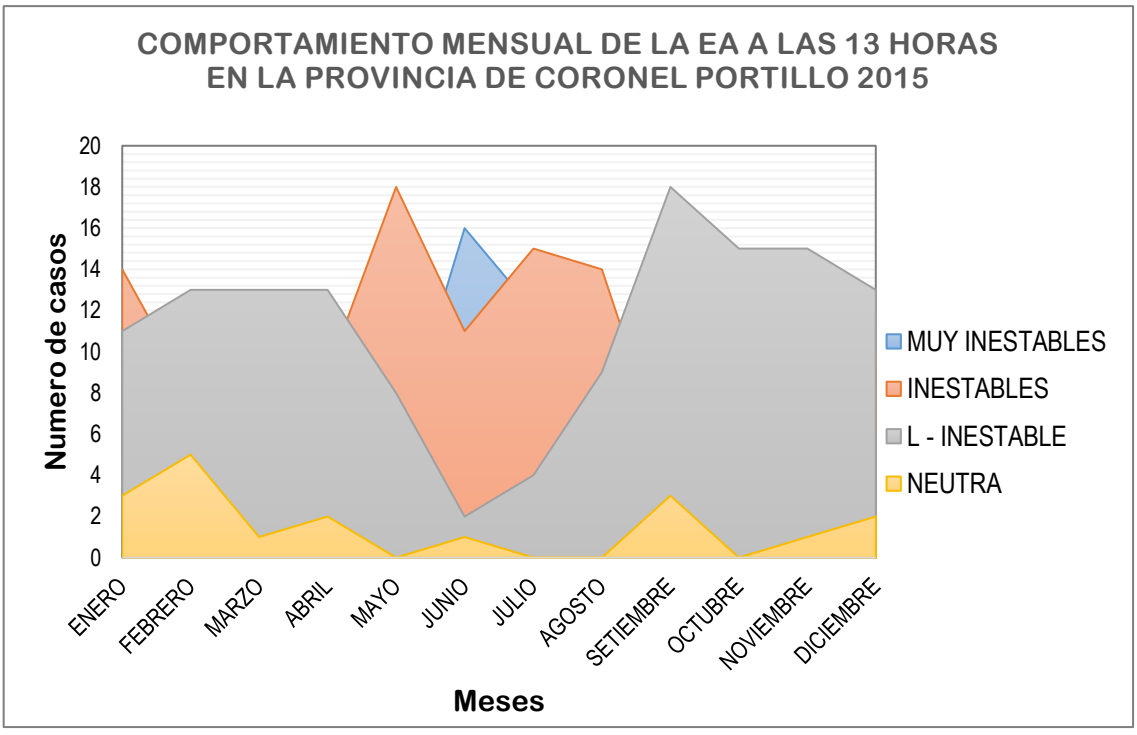


Figura 28: Comportamiento Mensual de la EA a las 13 Horas en la provincia de Coronel Portillo

4.3.3 ESTABILIDAD ATMÓSFERICA A LAS 16 HORAS

A las 16 horas la variación mensual de la EA en la provincia de Coronel Portillo, Tabla 7, presentó un comportamiento muy similar a la evaluación de las 07 horas, ocurriendo en todo el año las categorías: *neutra* (N)*, ligeramente inestable* (LI)*, inestable* (I) *y muy inestable* (ME), donde está ultima mostró 45 casos de ocurrencia, presentando su máximos valores en los meses de junio y julio (11 y 10 casos). Este comportamiento obedece al ciclo diario y estacional, debido a la incidencia de la irradiación solar sobre la superficie terrestre, este provoca que la radiación solar emitida se almacene en la superficie terrestre, el mismo que es liberado a la atmósfera, cuando se interrumpe la radiación solar, incrementando su temperatura de la atmósfera, provocando que en estos horarios exista una marcada inestabilidad atmosférica, la que se incrementa significativamente en los meses de otoño/invierno. Las restantes categorías que ocurrieron tuvieron valores muy inferiores y la categoría *muy estable* (ME) no ocurrió en todo el período evaluado.

Tabla 8: Caracterización de los grados de Estabilidad Atmosférica a las 16 horas

	MUY INESTABLES	INESTABLES	L – INESTABLE	NEUTRA	L - ESTABLE	ESTABLE
ENERO	3	14	14	0	0	0
FEBRERO	4	12	9	3	0	0
MARZO	3	21	7	0	0	0
ABRIL	1	24	5	0	0	0
MAYO	0	22	8	1	0	0
JUNIO	11	14	5	0	0	0
JULIO	10	20	1	0	0	0
AGOSTO	3	18	10	0	0	0
SETIEMBRE	0	18	12	0	0	0
OCTUBRE	1	20	10	0	0	0
NOVIEMBRE	3	16	11	0	0	0
DICIEMBRE	6	10	15	0	0	0
	45	209	107	4	0	0

En la figura 29, se puede observar los resultados obtenidos sobre la evaluación del comportamiento mensual de la estabilidad atmosférica a las 16 horas en la provincia de Coronel Portillo, donde se puede observar que los mayores casos del grado de inestabilidad se dieron en los meses de abril y julio del 2015, con 24 y 20 casos respectivamente; seguido los casos del grado ligeramente inestable, donde alcanzo 15 casos en el mes de diciembre y finalmente los casos de neutralidad, donde no estimula, ni inhibe el movimiento vertical del aire, ocasionando periodos de concentración de contaminantes en la superficie terrestre, estos casos se dieron en los meses de febrero y mayo con 3 y 1 casos respectivamente; a las 16 horas se pueden observar casos de atmósfera muy inestable debido a la irradiación de energía generado por la superficie terrestre.

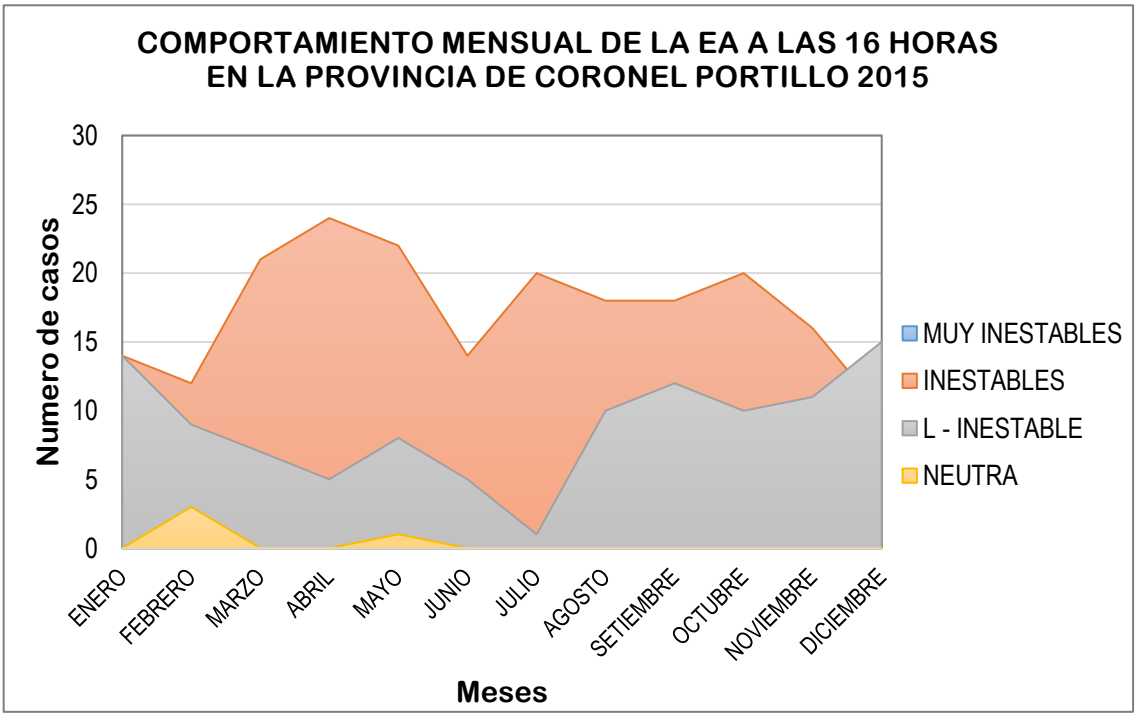


Figura 29: Comportamiento Mensual de la EA a las 16 Horas en la provincia de Coronel Portillo

4.3.4 VARIACION DE LA ESTABILIDAD ATMOSFERICA POR ESTACIONES

La provincia de Coronel Portillo, denominado como una provincia de clima tropical monzónico (am), según la clasificación de **Köppen-Geiger**, La mayor cantidad de casos de ocurrencias corresponden a la categoría inestable siendo la más marcada en los meses de invierno y otoño con **166 casos** y **165 casos** respectivamente, provocado por una mayor cantidad de horas de luz solar. En los meses de verano y primavera disminuye su ocurrencia, debido al comportamiento estacional (ciclo lluvioso), donde la EA también se caracterizó por ser inestable **130 casos** y **142 casos** respectivamente, lo cual obedece a una mayor incidencia de la irradiación y duración de las horas de luz solar, provocando un aumento de la temperatura y por consiguiente de la turbulencia atmosférica. Por ello las demás categoría tienen menor presencia en los meses de verano con **266 casos** de inestabilidad atmosférica, en comparación a las demás estaciones: estación de otoño con **273 casos**, en las estaciones de invierno y primavera los casos de inestabilidad fueron de **276** cada uno.

Tabla 9: Caracterización Estacional de los grados de Estabilidad Atmosferica

	VERANO	OTOÑO	INVIERNO	PRIMAVERA	
MUY INESTABLES	19	39	38	22	118
INESTABLES	130	165	166	142	603
L – INESTABLES	104	64	69	106	343
NEUTRA	13	5	3	6	27
L – ESTABLES	0	0	0	0	0
ESTABLES	0	0	0	0	0
TOTAL	266	273	276	276	1091

De acuerdo a la Figura 30, se puede observar la caracterización de los grados de Estabilidad Atmosférica por estaciones; donde los grados Muy Inestables e Inestables son los que más prevalecen, obteniendo sus valores más altos en las estaciones de otoño e invierno, donde las condiciones de dispersión de contaminantes es más favorable, debido a la predominancia de la categoría inestable.

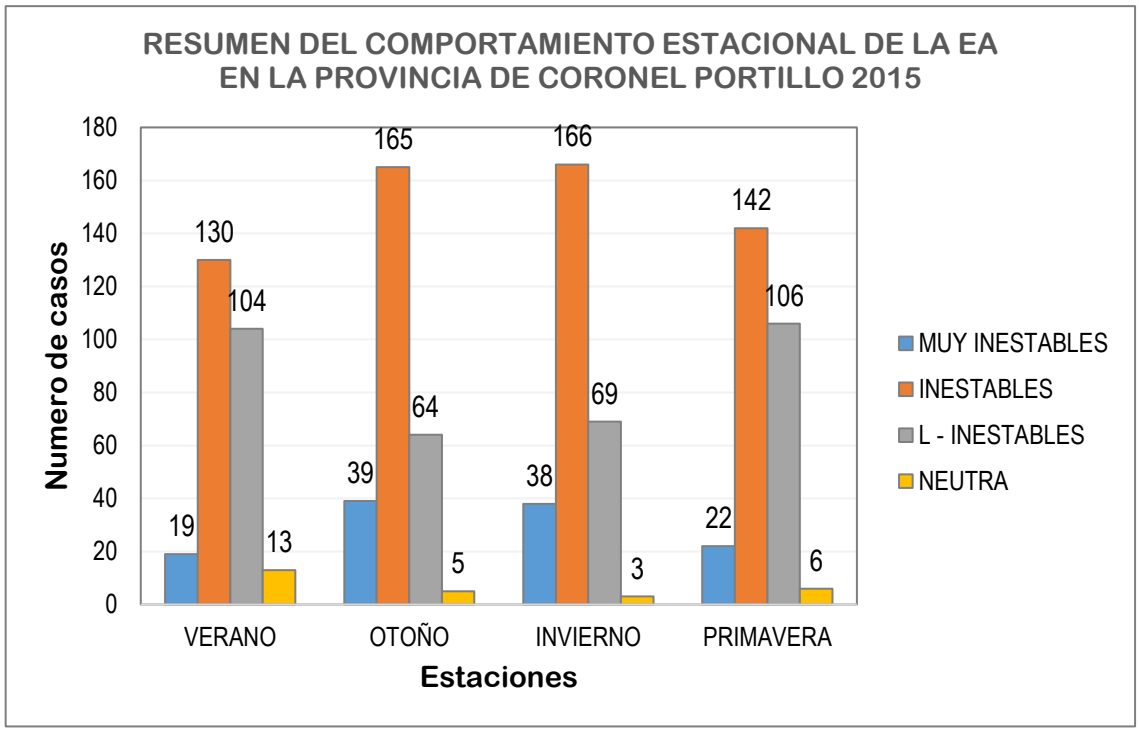


Figura 30: Resumen del comportamiento estacional de la Estabilidad Atmosférica

CAPÍTULO V

5.1 CONCLUSIONES

- El gradiente ambiental en la provincia de Coronel Portillo, mostro un valor mínimo en el mes de Julio siendo de 4.98 °C/Km y su valor más alto lo alcanzo en el mes de octubre siendo de 6.09 °C/Km. Además la gradiente ambiental estacional, alcanzo en la estación de primavera con 5.97 °C/Km, en la estación de verano con 5.48 °C/Km.

- El comportamiento estacional de la estabilidad atmosférica, muestra que en otoño e invierno se experimenta mejores condiciones para la dispersión de los contaminantes atmosféricos, presentando en estas estaciones 39 y 38 casos respectivamente de la categoría muy inestable, mientras que en la estación de verano presento 19 casos y en la estación de primavera presento 22 casos.

    - La comportamiento horario de la estabilidad atmosférica, mostró que entre las 13 y 16 horas existen condiciones adecuadas para la dispersión de los contaminantes, debido a un dominio notorio de las categorías *inestable* y *muy inestable*, mientras que a las 7 horas la categoría *inestable*, es la de mayor ocurrencia, mostrando también condiciones favorables para la dispersión vertical de contaminantes atmosféricos.

- La altura promedio de la capa de mezcla atmosférica en la provincia de Coronel Portillo, alcanzo su altura mínima de 1.38 Kilómetros en el mes de noviembre, en el mes de agosto alcanzo su altura máxima siendo de 1.83 kilómetros. En los meses de invierno, alcanzo los 1.72 Kilómetros de altura, mientras que en los meses de verano estuvo alrededor de los 1.63 Kilómetros de altura.

5.2 RECOMENDACIONES

- Realizar investigaciones relacionados al parámetro de la altura de la capa de mezcla atmosférica, respecto a su evolución durante el periodo nocturno, de esta manera se lograría obtener una información más completa sobre el comportamiento de la dispersión de los contaminantes atmosféricos.

- Realizar investigaciones sobre la concentración de los contaminantes gaseosos vertidos en la atmosfera por todas las industrias presentes en los distritos de Calleria, Yarinacocha y Manantay, mediante el desarrollo de un inventario de emisiones, con la finalidad de obtener información más completa y continuar avanzando el investigación atmosférica.

BIBLIOGRAFÍA

- ARYA S. (1988). Introducción a la Micro meteorología. Geofísica Internacional Serie. Prensa Académica. New York. Pág. 303.

- BELJAARS A. (1992). La Parametrización de la Capa Límite Planetaria. Serie de Conferencias. ECMWF. Pág. 73.

- CENTRO PANAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y CIENCIAS DEL AMBIENTE. Conceptos Básicos sobre Meteorología de la Contaminación del Aire. Recuperado de http:// www.bvsde.paho.org/cursoa_mteoro/lecc4/lecc4_1.html.

- CUXART J., YAGUE G., et al. (2000). Experimento de la Capa Limite de la Atmósfera. España (SABLES 98): Informe Bound Meteor, 96. Pág. 337 – 370.

- MORAGUES J., Clasificación de Estabilidad Capa de Mezcla

- NÚÑEZ CRESPÍ S., (2001). Altura de la Capa de Mezcla: Caracterización Experimental y Aplicación de un Modelo Meteorológico para el Estudio de su Evolución Diurna. Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias Físicas, Universidad Complutense de Madrid.

- PLATE E. (1982). Ingeniería de Meteorología. Elsevier Scientistic Publishing Company.

- RETALLACK B.J., Compendio de Meteorología, Vol. 1, Parte 2, OMM. Recuperado de http://meteoares.blogspot.pe/2010/08/que-son-los-gradientes-adiabaticos.html.

- RODRIGUEZ VALDEZ D., et al. (2006). Variación de la Estabilidad y Altura de la Capa de Mezcla en la Ciudad de Pinar del Rio: Su Relación

con Condiciones Sinópticas. Universidad de Pinar del Rio, Facultad de Ciencias Técnicas, Departamento de Física, Pinar del Rio, Cuba.

- SÁNCHEZ CCOYLLO O., et al. (2014). Evaluación de la calidad del aire en Lima Metropolitana 2012. Lima: SENAMHI.

- SEIBERT P., et al. (2000). Revisión e intercomparación de los métodos operativos para la determinación de la altura de mezcla atmosférica, 34. Pág. 1001 - 1027

- STULL R.B., (1998). Introducción a la Meteorología de la Capa Límite. Kluwer Académico Editores. Pág. 666.

- TREJO VASQUEZ R., (2012). Método Propuesto para Estimar la Altura de Capa de Mezcla en la Atmósfera, con ayuda de la Aviación. Departamento de Ingeniería, Universidad del Valle de México, Campus Aguascalientes. México.

- UNDURRAGA PERALTA A., (2010). Desarrollo de Capa de Mezcla en Santiago: Análisis Observacional y Comparación con Modelo de Mesoescala. Santiago de Chile.

- ZHANG J., Y RAÓ S., (1999). El papel de la Mezcla Vertical en la Evolución temporal de la Concentración de Ozono a nivel del suelo. Appl Meteor., 38 pág. 1674 – 1690.

ANEXOS

Anexo 1: procesamiento de datos del mes de enero 2015

MES DE ENERO, 2015									
Día	T° al nivel del suelo	Altura (H)	T° del aire (1.40 m)	Constante de conversión a metros	Altura (H) del aire	T° del aire a la altura (H) medida	dt/dz	T° mensual Max promedio	Altura (H) de la capa de mezcla atmosférica
	°C	**Ft**	**°C**		**M**	**°C**	**°C/Km**	**°C**	**Km**
1	29		27	0.3048				31.8	
2	28	7,500	25.2	0.3048	2,286.0	15	5.69	31.8	1.60
3	27.4	10,500	25.2	0.3048	3,200.4	10	5.44	31.8	1.51
4	26.6	8,500	24.6	0.3048	2,590.8	11	6.02	31.8	1.91
5	27.2	8,500	24	0.3048	2,590.8	11	6.25	31.8	2.20
6	25.6	10,500	24.4	0.3048	3,200.4	9	5.19	31.8	1.60
7	26.2	10,500	24.4	0.3048	3,200.4	9	5.37	31.8	1.67
8	27.2	10,500	25	0.3048	3,200.4	4	7.25	31.8	2.67
9	28	9,500	25.2	0.3048	2,895.6	8	6.91	31.8	2.28
10	27.4	10,500	25	0.3048	3,200.4	10	5.44	31.8	1.56
11	26.2	12,000	24	0.3048	3,657.6	5	5.80	31.8	1.95
12	25.8	9,500	24.2	0.3048	2,895.6	8	6.15	31.8	2.08
13	25.4	10,500	24.6	0.3048	3,200.4	10	4.81	31.8	1.44
14	26.2	10,500	25.4	0.3048	3,200.4	9	5.37	31.8	1.45
15	26.2	10,500	25	0.3048	3,200.4	10	5.06	31.8	1.44
16	26.8	7,500	25.4	0.3048	2,286.0	14	5.60	31.8	1.52
17	26.4	10,500	25.4	0.3048	3,200.4	10	5.12	31.8	1.37
18	26.2		25.4	0.3048				31.8	
19	25.2	7,500	24.4	0.3048	2,286.0	15	4.46	31.8	1.39
20	25.2	7,500	24.4	0.3048	2,286.0	14	4.90	31.8	1.51
21	25.2	7,500	24.4	0.3048	2,286.0	13	5.34	31.8	1.66
22	24.6	7,500	24	0.3048	2,286.0	13	5.07	31.8	1.65
23	25.4	9,500	24.4	0.3048	2,895.6	8	6.01	31.8	1.95
24	26		25.2	0.3048				31.8	
25	27.4		26	0.3048				31.8	
26	26.2	9,500	25.6	0.3048	2,895.6	8	6.29	31.8	1.76
27	27		25	0.3048				31.8	
28	26.2	8,500	24.8	0.3048	2,590.8	12	5.48	31.8	1.62
29	25.2	10,500	24.8	0.3048	3,200.4	10	4.75	31.8	1.39
30	26.2	10,500	25.4	0.3048	3,200.4	10	5.06	31.8	1.35
31	26	9,500	25	0.3048	2,895.6	8	6.22	31.8	1.90

Anexo 2: procesamiento de datos del mes de febrero 2015

MES DE FEBRERO, 2015									
Día	T° al nivel del suelo	Altura (H)	T° del aire (1.40 m)	Constante de conversión a metros	Altura (H) del aire	T° del aire a la altura (H) medida	dt/dz	T° mensual Max promedio	Altura (H) de la capa de mezcla atmosférica
	°C	**Ft**	**°C**		**m**	**°C**	**°C/Km**	**°C**	**Km**
1	25.6	10,500	24.4	0.3048	3,200.4	10	4.87	31.8	1.50
2	27.4	10,500	24.8	0.3048	3,200.4	10	5.44	31.8	1.60
3	26.4	5,000	25	0.3048	1,524	18	5.51	31.8	1.59
4	28	5,500	25.8	0.3048	16,76.4	22	3.58	31.8	0.96
5	28.2	5,500	25.6	26.2	14,4100	22	0.04	31.8	0.64
6	28.4	7,500	26.4	0.3048	2,286	15	5.86	31.8	1.37
7	28.6	5,500	25.8	0.3048	1,676.4	20	5.13	31.8	1.28
8	29.2	5,500	26.2	0.3048	1,676.4	22	4.29	31.8	1.02
9	27.4	10,500	24.6	0.3048	3,200.4	10	5.44	31.8	1.65
10	25.8	5,500	25.2	0.3048	1,676.4	17	5.25	31.8	1.45
11	26	5,500	25	0.3048	1,676.4	20	3.58	31.8	1.09
12	26.6	7,500	25.2	0.3048	2,286	14	5.51	31.8	1.54
13	25.8	5,500	25.8	0.3048	1,676.4	17	5.25	31.8	1.32
14	25.6	7,500	24.2	0.3048	2,286	13	5.51	31.8	1.77
15	26	7,500	24.4	0.3048	2,286	13	5.69	31.8	1.80
16	26.4		25.6	0.3048				31.8	
17	26.4		25.6	0.3048				31.8	
18	28.2	5,500	26.6	0.3048	1,676.4	20	4.89	31.8	1.06
19	29	9,500	26.2	0.3048	2,895.6	7	7.60	31.8	2.54
20	29.2	12,000	25.2	0.3048	3,657.6	5	6.62	31.8	2.07
21	25.2	10,500	23.8	0.3048	3,200.4	6	6.00	31.8	2.10
22	24	9,500	23.8	0.3048	2,895.6	8	5.53	31.8	1.87
23	26	8,500	25	0.3048	2,590.8	11	5.79	31.8	1.70
24	25.8	9,500	25.2	0.3048	2,895.6	8	6.15	31.8	1.81
25	24.8	9,500	23.6	0.3048	2,895.6	8	5.80	31.8	2.05
26	25.6	10,500	25	0.3048	3,200.4	9	5.19	31.8	1.47
27	25.2	7,500	24.6	0.3048	2,286	14	4.90	31.8	1.47
28	25.8		25.4	0.3048				31.8	

Anexo 3: procesamiento de datos del mes de marzo 2015

MES DE MARZO, 2015									
Día	T° al nivel del suelo	Altura (H)	T° del aire (1.40 m)	Constante de conversión a metros	Altura (H) del aire	T° del aire a la altura (H) medida	dt/dz	T° mensual Max promedio	Altura (H) de la capa de mezcla atmosférica
	°C	**Ft**	**°C**		**m**	**°C**	**°C/Km**	**°C**	**Km**
1	26	10,500	24.8	0.3048	3,200.4	10	5.00	31.8	1.46
2	25.4	10,500	24.6	0.3048	3,200.4	6	6.06	31.8	1.93
3	26	8,500	24.8	0.3048	2,590.8	12	5.40	31.8	1.59
4	26.2	10,500	25.8	0.3048	3,200.4	9	5.37	31.8	1.36
5	27	8,500	25.4	0.3048	2,590.8	11	6.18	31.8	1.77
6	27.2	9,500	25.2	0.3048	2,895.6	8	6.63	31.8	2.08
7	25.2	10,500	24.4	0.3048	3,200.4	9	5.06	31.8	1.56
8	25.4		24.6	0.3048				31.8	
9	26.2	10,500	25.4	0.3048	3,200.4	10	5.06	31.8	1.35
10	27.2	8,500	25.6	0.3048	2,590.8	11	6.25	31.8	1.75
11	27.2	8,500	26.2	0.3048	2,590.8	11	6.25	31.8	1.58
12	26.8	7,500	25.8	0.3048	2,286	14	5.60	31.8	1.43
13	27	7,500	25.4	0.3048	2,286	14	5.69	31.8	1.56
14	27	8,500	26	0.3048	2,590.8	11	6.18	31.8	1.60
15	28	10,500	25.4	0.3048	3,200.4	10	5.62	31.8	1.53
16	28.2	7,500	25.4	0.3048	2,286	14	6.21	31.8	1.78
17	27	7,500	24.8	0.3048	2,286	15	5.25	31.8	1.54
18	29	7,500	26.4	0.3048	2,286	14	6.56	31.8	1.67
19	25.2		23	0.3048				31.8	
20	25.2	10,500	24	0.3048	3,200.4	10	4.75	31.8	1.54
21	26		25	0.3048				31.8	
22	26	9,500	24.2	0.3048	2,895.6	7	6.56	31.8	2.35
23	26	7,500	25.2	0.3048	2,286	14	5.25	31.8	1.45
24	25.2	8,500	22.6	0.3048	2,590.8	12	5.09	31.8	1.96
25	26	8,500	25	0.3048	2,590.8	12	5.40	31.8	1.55
26	27.4	8,500	25.8	0.3048	2,590.8	11	6.33	31.8	1.73
27	27.2	8,500	25.6	0.3048	2,590.8	12	5.87	31.8	1.58
28	26.6	7,500	25.8	0.3048	2,286	14	5.51	31.8	1.40
29	26	10,500	25.4	0.3048	3,200.4	10	5.00	31.8	1.33
30	26	7,500	25.4	0.3048	2,286	14	5.25	31.8	1.41
31	26.4	7,500	25.4	0.3048	2,286	14	5.42	31.8	1.46

Anexo 4: procesamiento de datos del mes de abril 2015

MES DE ABRIL, 2015									
Día	T° al nivel del suelo	Altura (H)	T° del aire (1.40 m)	Constante de conversión a metros	Altura (H) del aire	T° del aire a la altura (H) medida	dt/dz	T° mensual Max promedio	Altura (H) de la capa de mezcla atmosférica
	°C	**Ft**	**°C**		**m**	**°C**	**°C/Km**	**°C**	**Km**
1	26.6	8,500	25.4	0.3048	2,590.8	12	5.64	31.8	1.54
2	26	9,500	25	0.3048	2,895.6	8	6.22	31.8	1.90
3	26.4	8,500	25	0.3048	2,590.8	11	5.94	31.8	1.76
4	26.8	10,500	26	0.3048	3,200.4	9	5.56	31.8	1.37
5	28	10,500	25.6	0.3048	3,200.4	9	5.94	31.8	1.60
6	26.2	10,500	25	0.3048	3,200.4	9	5.37	31.8	1.54
7	24.4	10,500	23.2	0.3048	3,200.4	6	5.75	31.8	2.12
8	25.2	10,500	23.4	0.3048	3,200.4	6	6.00	31.8	2.21
9	26.8	10,500	24.6	0.3048	3,200.4	9	5.56	31.8	1.70
10	26.2	7,500	24.6	0.3048	2,286	14	5.34	31.8	1.61
11	25.4	8,500	22.6	0.3048	2,590.8	12	5.17	31.8	1.99
12	26.2	8,500	25	0.3048	2,590.8	11	5.87	31.8	1.73
13	27.8	5,500	26.6	0.3048	1,676.4	17	6.44	31.8	1.55
14	26.2	10,500	25	0.3048	3,200.4	10	5.06	31.8	1.44
15	27	8,500	25.2	0.3048	2,590.8	11	6.18	31.8	1.82
16	27.6	10,500	25.4	0.3048	3,200.4	10	5.50	31.8	1.49
17	27.4	10,500	25	0.3048	3,200.4	10	5.44	31.8	1.56
18	26.6	9,500	24.4	0.3048	2,895.6	8	6.42	31.8	2.19
19	25.2	10,500	24.2	0.3048	3,200.4	10	4.75	31.8	1.50
20	26.4	10,500	25.2	0.3048	3,200.4	10	5.12	31.8	1.41
21	27.2	7,500	26	0.3048	2,286	14	5.77	31.8	1.44
22	25.2	6,500	23.8	0.3048	1,981.2	16	4.64	31.8	1.55
23	26.2	12,000	26.2	0.3048	3,657.6	5	5.80	31.8	1.40
24	26.2	10,500	25.4	0.3048	3,200.4	10	5.06	31.8	1.35
25	26.4	7,500	24.8	0.3048	2,286	13	5.86	31.8	1.78
26	26.4	10,500	26	0.3048	3,200.4	10	5.12	31.8	1.24
27	26.4	10,500	25.2	0.3048	3,200.4	10	5.12	31.8	1.41
28	26.6	10,500	25.6	0.3048	3,200.4	10	5.19	31.8	1.34
29	26.6	8,500	25	0.3048	2,590.8	12	5.64	31.8	1.63
30	27	10,500	25.4	0.3048	3,200.4	10	5.31	31.8	1.43

Anexo 5: procesamiento de datos del mes de mayo 2015

MES DE MAYO, 2015									
Día	T° al nivel del suelo	Altura (H)	T° del aire (1.40 m)	Constante de conversión a metros	Altura (H) del aire	T° del aire a la altura (H) medida	dt/dz	T° mensual Max promedio	Altura (H) de la capa de mezcla atmosférica
	°C	**Ft**	**°C**		**m**	**°C**	**°C/Km**	**°C**	**Km**
1	26.4	10,500	25.4	0.3048	3200.4	10	5.12	31.8	1.37
2	27	7,500	24.4	0.3048	2286	14	5.69	31.8	1.80
3	27.4	10,500	26.4	0.3048	3200.4	9	5.75	31.8	1.33
4	26.4	10,500	26.2	0.3048	3,200.4	9	5.44	31.8	1.28
5	26.8	7,500	25	0.3048	2,286	13	6.04	31.8	1.81
6	28.2	10,500	25.6	0.3048	3,200.4	9	6.00	31.8	1.63
7	28.6	9,500	26.8	0.3048	2,895.6	8	7.11	31.8	1.86
8	26.8	10,500	24.2	0.3048	3,200.4	10	5.25	31.8	1.67
9	27.8	10,500	26.2	0.3048	3,200.4	9	5.87	31.8	1.43
10	26.4	7,500	25.4	0.3048	2,286	14	5.42	31.8	1.46
11	26.2	6,500	26	0.3048	1,981.2	16	5.15	31.8	1.25
12	24.6	10,500	23	0.3048	3,200.4	6	5.81	31.8	2.21
13	25.4	7,500	24.8	0.3048	2,286	14	4.99	31.8	1.45
14	25.2	7,500	24.6	0.3048	2,286	15	4.46	31.8	1.35
15	25.8		25	0.3048				31.8	
16	25.4		24.4	0.3048				31.8	
17	24.6		23.8	0.3048				31.8	
18	25.6		23.6	0.3048				31.8	
19	26.4		26.2	0.3048				31.8	
20	26.6		26.4	0.3048				31.8	
21	26.4		24.8	0.3048				31.8	
22	27.6		26.2	0.3048				31.8	
23	28.6		23.8	0.3048				31.8	
24	29.4		26	0.3048				31.8	
25	27.4		24.4	0.3048				31.8	
26	26		25.6	0.3048				31.8	
27	27.6		25	0.3048				31.8	
28	29	9,500	26	0.3048	2,895.6	7	7.60	31.8	2.63
29	26.4	10,500	24.4	0.3048	3,200.4	9	5.44	31.8	1.70
30	26	9,500	24.6	0.3048	2,895.6	8	6.22	31.8	2.01
31	27.2		26	0.3048				31.8	

Anexo 6: procesamiento de datos del mes de junio 2015

MES DE JUNIO, 2015									
Día	T° al nivel del suelo	Altura (H)	T° del aire (1.40 m)	Constante de conversión a metros	Altura (H) del aire	T° del aire a la altura (H) medida	dt/dz	T° mensual Max promedio	Altura (H) de la capa de mezcla atmosférica
	°C	**Ft**	**°C**		**m**	**°C**	**°C/Km**	**°C**	**Km**
1	28	10,500	26	0.3048	3,200.4	10	5.62	31.8	1.39
2	26.2	9,500	24.8	0.3048	2,895.6	8	6.29	31.8	1.99
3	25	8,500	24.2	0.3048	2,590.8	11	5.40	31.8	1.73
4	26.2	6,500	25	0.3048	1,981.2	16	5.15	31.8	1.46
5	26	9,500	24	0.3048	2,895.6	7	6.56	31.8	2.41
6	26.2	10,500	24.4	0.3048	3,200.4	10	5.06	31.8	1.56
7	26.8	10,500	24.8	0.3048	3,200.4	9	5.56	31.8	1.65
8	28	9,500	26	0.3048	2,895.6	8	6.91	31.8	2.00
9	26.2	10,500	24	0.3048	3,200.4	9	5.37	31.8	1.76
10	27.2	5,500	25	0.3048	1,676.4	20	4.29	31.8	1.24
11	27.2	8,500	25.6	0.3048	2,590.8	12	5.87	31.8	1.58
12	27.2	10,500	26	0.3048	3,200.4	9	5.69	31.8	1.41
13	27.6	10,500	25.2	0.3048	3,200.4	9	5.81	31.8	1.65
14	28		25.6	0.3048	0			31.8	
15	28	10,500	25.2	0.3048	3,200.4	9	5.94	31.8	1.71
16	27.8	6,500	24.4	0.3048	1,981.2	16	5.96	31.8	1.93
17	27.6	10,500	25.6	0.3048	3,200.4	10	5.50	31.8	1.44
18	27	10,500	24.2	0.3048	3,200.4	9	5.62	31.8	1.82
19	26.4	6,500	24	0.3048	1,981.2	16	5.25	31.8	1.71
20	21	9,500	19	0.3048	2,895.6	8	4.49	31.8	2.41
21	22	9,500	20.6	0.3048	2,895.6	8	4.83	31.8	2.26
22	23.6	8,500	23	0.3048	2,590.8	12	4.48	31.8	1.65
23	24	9,500	22.4	0.3048	2,895.6	8	5.53	31.8	2.20
24	25.8	10,500	24	0.3048	3,200.4	6	6.19	31.8	2.16
25	24.4	9,500	23.6	0.3048	2,895.6	8	5.66	31.8	1.98
26	25	6,500	24	0.3048	1,981.2	16	4.54	31.8	1.48
27	26	7,500	24.2	0.3048	2,286	13	5.69	31.8	1.85
28	26.2		25.2	0.3048				31.8	
29	26.4	5,500	26	0.3048	1,676.4	24	1.43	31.8	0.69
30	26	10,500	24.2	0.3048	3,200.4	10	5.00	31.8	1.58

Anexo 7: procesamiento de datos del mes de julio 2015

MES DE JULIO, 2015									
Día	T° al nivel del suelo	Altura (H)	T° del aire (1.40 m)	Constante de conversión a metros	Altura (H) del aire	T° del aire a la altura (H) medida	dt/dz	T° mensual Max promedio	Altura (H) de la capa de mezcla atmosférica
	°C	**Ft**	**°C**		**m**	**°C**	**°C/Km**	**°C**	**Km**
1	27.2	10,500	24.2	0.3048	3,200.4	9	5.69	31.8	1.85
2	28	5,500	25.4	0.3048	1,676.4	23	2.98	31.8	0.94
3	27.2	10,500	24.2	0.3048	3,200.4	10	5.37	31.8	1.72
4	27	9,500	24	0.3048	2,895.6	10	5.87	31.8	1.99
5	25	9,500	22.6	0.3048	2,895.6	7	6.22	31.8	2.57
6	23	9,500	21.6	0.3048	2,895.6	10	4.49	31.8	1.92
7	24	9,000	23.6	0.3048	2,743.2	18	2.19	31.8	1.08
8	25.2		24.4	0.3048				31.8	
9	26		24.4	0.3048				31.8	
10	25	9,500	23.6	0.3048	2,895.6	7	6.22	31.8	2.29
11	26.2		25	0.3048				31.8	
12	25	9,500	24.6	0.3048	2,895.6	10	5.18	31.8	1.56
13	25	8,500	24	0.3048	2,590.8	12	5.02	31.8	1.63
14	24.4	10,500	23.6	0.3048	3,200.4	9	4.81	31.8	1.64
15	25.4	10,500	24	0.3048	3,200.4	15	3.25	31.8	1.19
16	24.8	10,500	23.2	0.3048	3,200.4	8	5.25	31.8	1.89
17	24		23.2	0.3048		8		31.8	
18	24.2		23.2	0.3048				31.8	
19	24	5,500	22.6	0.3048	1,676.4	16	4.77	31.8	1.83
20	25.2	8,000	23.6	0.3048	2,438.4	11	5.82	31.8	2.06
21	25.2	10,500	24	0.3048	3,200.4	16	2.87	31.8	1.13
22	27	9,500	24.4	0.3048	2,895.6	10	5.87	31.8	1.88
23	24	9,500	22.8	0.3048	2,895.6	10	4.83	31.8	1.81
24	24.2		23	0.3048		10		31.8	
25	25.2	10,500	24	0.3048	3,200.4	7	5.69	31.8	1.90
26	25.4		24	0.3048		12		31.8	
27	25	8,500	24	0.3048	2,590.8	12	5.02	31.8	1.63
28	25	10,500	24	0.3048	3,200.4	8	5.31	31.8	1.74
29	26	11,000	25.2	0.3048	3,352.8	6	5.97	31.8	1.72
30	25.2	8,500	24.6	0.3048	2,590.8	12	5.09	31.8	1.53
31	26	8,500	24	0.3048	2,590.8	11	5.79	31.8	1.95

Anexo 8: procesamiento de datos del mes de agosto 2015

MES DE AGOSTO, 2015									
Día	T° al nivel del suelo	Altura (H)	T° del aire (1.40 m)	Constante de conversión a metros	Altura (H) del aire	T° del aire a la altura (H) medida	dt/dz	T° mensual Max promedio	Altura (H) de la capa de mezcla atmosférica
	°C	**Ft**	**°C**		**m**	**°C**	**°C/Km**	**°C**	**Km**
1	26	10,500	23.8	0.3048	3,200.4	4	6.87	31.8	2.73
2	27	10,500	24.6	0.3048	3,200.4	8	5.94	31.8	1.86
3	27.2	8,500	25	0.3048	2,590.8	12	5.87	31.8	1.73
4	28	7,500	24.6	0.3048	2,286	12	7.00	31.8	2.57
5	27.2		24.4	0.3048				31.8	
6	28.2		26	0.3048				31.8	
7	28.4		25.2	0.3048				31.8	
8	28.4	10,500	25	0.3048	3,200.4	8	6.37	31.8	1.98
9	28.2	10,500	25	0.3048	3,200.4	8	6.31	31.8	1.95
10	28.4	10,500	25.4	0.3048	3,200.4	12	5.12	31.8	1.37
11	26	10,500	23.4	0.3048	3,200.4	7	5.94	31.8	2.17
12	25.4	8,500	23.6	0.3048	2,590.8	12	5.17	31.8	1.77
13	23.8	8,500	22.4	0.3048	2,590.8	11	4.94	31.8	1.93
14	24.4	9,500	23.8	0.3048	2,895.6	10	4.97	31.8	1.66
15	26	8,500	25.2	0.3048	2,590.8	11	5.79	31.8	1.65
16	26	8,500	23.6	0.3048	2,590.8	12	5.40	31.8	1.87
17	26.4		24.2	0.3048				31.8	
18	28	10,500	25.2	0.3048	3,200.4	9	5.94	31.8	1.71
19	27.8	7,500	24.4	0.3048	2,286	15	5.60	31.8	1.76
20	28.4	9,500	25.6	0.3048	2,895.6	8	7.05	31.8	2.25
21	26	10,000	24.6	0.3048	3,048	9	5.58	31.8	1.71
22	26.2	10,500	25	0.3048	3,200.4	12	4.44	31.8	1.27
23	27.4	9,500	26	0.3048	2,895.6	10	6.01	31.8	1.53
24	28	6,500	24.6	0.3048	1,981.2	16	6.06	31.8	1.92
25	28	7,500	25.2	0.3048	2,286	14	6.12	31.8	1.80
26	28	7,500	25.8	0.3048	2,286	16	5.25	31.8	1.32
27	29	10,500	25.6	0.3048	3,200.4	9	6.25	31.8	1.75
28	26.4	10,500	23.6	0.3048	3,200.4	8	5.75	31.8	2.02
29	26	13,500	24.4	0.3048	4,114.8	2	5.83	31.8	1.87
30	27.2	10,500	26	0.3048	3,200.4	8	6.00	31.8	1.53
31	27	10,500	25.6	0.3048	3,200.4	8	5.94	31.8	1.60

Anexo 9: procesamiento de datos del mes de septiembre 2015

MES DE SEPTIEMBRE, 2015									
Día	T° al nivel del suelo	Altura (H)	T° del aire (1.40 m)	Constante de conversión a metros	Altura (H) del aire	T° del aire a la altura (H) medida	dt/dz	T° mensual Max promedio	Altura (H) de la capa de mezcla atmosférica
	°C	**Ft**	**°C**		**m**	**°C**	**°C/Km**	**°C**	**Km**
1	26	10,500	25.2	0.3048	3,200.4	6	6.25	31.8	1.86
2	26		24.8	0.3048				31.8	
3	27		25.4	0.3048				31.8	
4	27		25	0.3048				31.8	
5	27	6,500	25	0.3048	1,981.2	16	5.55	31.8	1.60
6	26	5,500	24.6	0.3048	1,676.4	17	5.37	31.8	1.62
7	26.2	7,500	24.6	0.3048	2,286	16	4.46	31.8	1.35
8	29.2	10,500	26.2	0.3048	3,200.4	10	6.00	31.8	1.47
9	30	9,500	27	0.3048	2,895.6	12	6.22	31.8	1.34
10	29.4	9,500	26.4	0.3048	2,895.6	10	6.70	31.8	1.74
11	29.4	9,500	26	0.3048	2,895.6	10	6.70	31.8	1.87
12	30.2	9,500	26.2	0.3048	2,895.6	10	6.98	31.8	1.98
13	30.2	9,500	26.2	0.3048	2,895.6	10	6.98	31.8	1.98
14	28.6	5,500	24.4	0.3048	1,676.4	20	5.13	31.8	1.58
15	27.6	10,500	24.4	0.3048	3,200.4	10	5.50	31.8	1.72
16	29.4	10,500	26.2	0.3048	3,200.4	10	6.06	31.8	1.50
17	30	9,500	26.8	0.3048	2,895.6	10	6.91	31.8	1.73
18	31	9,500	27.4	0.3048	2,895.6	10	7.25	31.8	1.73
19	30.4	9,500	27	0.3048	2,895.6	10	7.05	31.8	1.74
20	25.2	10,500	23.2	0.3048	3,200.4	8	5.37	31.8	1.94
21	27.4	10,500	26	0.3048	3,200.4	10	5.44	31.8	1.33
22	27.4	10,500	26.6	0.3048	3,200.4	10	5.44	31.8	1.19
23	29	10,500	26.2	0.3048	3,200.4	10	5.94	31.8	1.45
24	27	10,500	24.6	0.3048	3,200.4	10	5.31	31.8	1.60
25	27.4	10,500	25.6	0.3048	3,200.4	10	5.44	31.8	1.42
26	30.2	9,500	27.2	0.3048	2,895.6	10	6.98	31.8	1.63
27	28	12,500	26	0.3048	3,810	6	5.77	31.8	1.44
28	26.4	12,000	25	0.3048	3,657.6	5	5.85	31.8	1.72
29	27	10,500	26	0.3048	3,200.4	9	5.62	31.8	1.39
30	29	7,500	27.4	0.3048	2,286	16	5.69	31.8	1.07

Anexo 10: procesamiento de datos del mes de octubre 2015

MES DE OCTUBRE, 2015									
Día	T° al nivel del suelo	Altura (H)	T° del aire (1.40 m)	Constante de conversión a metros	Altura (H) del aire	T° del aire a la altura (H) medida	dt/dz	T° mensual Max promedio	Altura (H) de la capa de mezcla atmosférica
	°C	**Ft**	**°C**		**m**	**°C**	**°C/Km**	**°C**	**Km**
1	28	6,500	25.2	0.3048	1,981.2	15	6.56	31.8	2.04
2	27	6,500	24.8	0.3048	1,981.2	16	5.55	31.8	1.65
3	27.2	9,500	24.6	0.3048	2,895.6	9	6.29	31.8	2.05
4	26.2	9,500	25	0.3048	2,895.6	8	6.29	31.8	1.93
5	26.2	6,500	25.2	0.3048	1,981.2	11	7.67	31.8	3.10
6	27.4	10,500	26.8	0.3048	3,200.4	10	5.44	31.8	1.15
7	28	9,500	27	0.3048	2,895.6	12	5.53	31.8	1.12
8	30	6,500	27.2	0.3048	1,981.2	18	6.06	31.8	1.23
9	31	10,000	28	0.3048	3,048	11	6.56	31.8	1.17
10	31	10,500	27.4	0.3048	3,200.4	10	6.56	31.8	1.36
11	31	9,500	26.2	0.3048	2,895.6	8	7.94	31.8	3.02
12	25.2	10,500	23	0.3048	3,200.4	10	4.75	31.8	1.74
13	25	9,500	24.2	0.3048	2,895.6	11	4.83	31.8	1.53
14	26	7,500	24	0.3048	2,286	15	4.81	31.8	1.56
15	28.6	9,500	27.6	0.3048	2,895.6	11	6.08	31.8	1.13
16	26.4	6,000	25.6	0.3048	1,828.8	12	7.87	31.8	3.22
17	26	6,500	25.6	0.3048	1,981.2	15	5.55	31.8	1.46
18	25.6	9,500	25.2	0.3048	2,895.6	10	5.39	31.8	1.50
19	25.4	9,500	25	0.3048	2,895.6	10	5.32	31.8	1.52
20	28	10,500	26.6	0.3048	3,200.4	10	5.62	31.8	1.25
21	28.2	10,500	26.8	0.3048	3,200.4	9	6.00	31.8	1.32
22	29	10,500	26	0.3048	3,200.4	10	5.94	31.8	1.50
23	29.4	5,000	26	0.3048	1,524	18	7.48	31.8	2.50
24	30	10,500	26.8	0.3048	3,200.4	10	6.25	31.8	1.41
25	30	10,500	26.8	0.3048	3,200.4	10	6.25	31.8	1.41
26	29	9,500	25.6	0.3048	2,895.6	11	6.22	31.8	1.73
27	27.6	7,500	25	0.3048	2,286	15	5.51	31.8	1.59
28	28.4	10,500	26	0.3048	3,200.4	10	5.75	31.8	1.43
29	29.2	10,500	26.2	0.3048	3,200.4	10	6.00	31.8	1.47
30	31	10,500	28	0.3048	3,200.4	10	6.56	31.8	1.17
31	30.2	10,500	26	0.3048	3,200.4	10	6.31	31.8	1.66

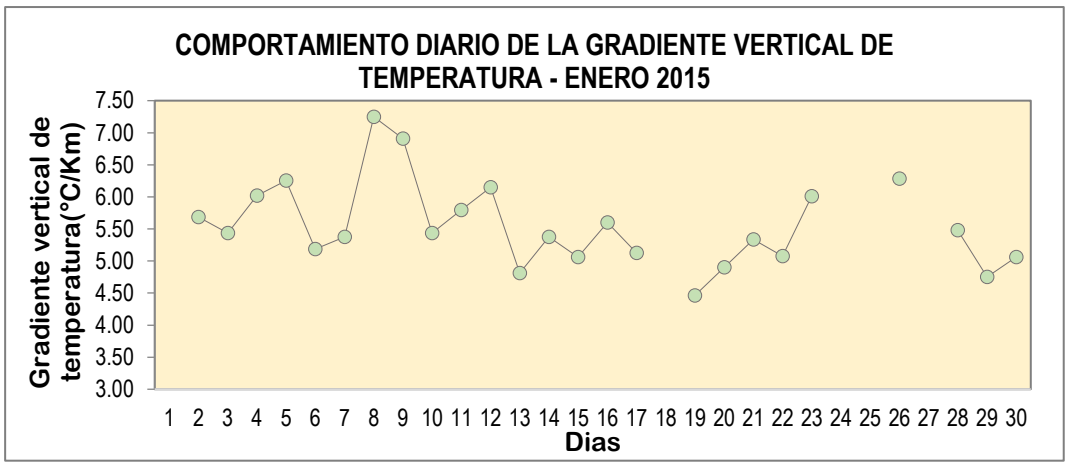
Anexo 11: procesamiento de datos del mes de noviembre 2015

MES DE NOVIEMBRE, 2015									
Día	T° al nivel del suelo	Altura (H)	T° del aire (1.40 m)	Constante de conversión a metros	Altura (H) del aire	T° del aire a la altura (H) medida	dt/dz	T° mensual Max promedio	Altura (H) de la capa de mezcla atmosférica
	°C	**Ft**	**°C**		**m**	**°C**	**°C/Km**	**°C**	**Km**
1	28.4	10,500	26.4	0.3048	3,200.4	10	5.75	31.8	1.33
2	26.4	10,500	25.4	0.3048	3,200.4	10	5.12	31.8	1.37
3	25.6	10,500	25.2	0.3048	3,200.4	10	4.87	31.8	1.34
4	26.8	10,500	25.6	0.3048	3,200.4	10	5.25	31.8	1.36
5	26	10,500	25.4	0.3048	3,200.4	10	5.00	31.8	1.33
6	27.6	10,500	26	0.3048	3,200.4	10	5.50	31.8	1.35
7	27	10,500	25	0.3048	3,200.4	10	5.31	31.8	1.52
8	27.4	10,500	25	0.3048	3,200.4	10	5.44	31.8	1.56
9	26.4	9,500	25	0.3048	2,895.6	8	6.35	31.8	1.97
10	27.6	10,500	27	0.3048	3,200.4	10	5.50	31.8	1.12
11	27.2	8,500	26.6	0.3048	2,590.8	11	6.25	31.8	1.47
12	27.4	10,500	26	0.3048	3,200.4	4	7.31	31.8	2.33
13	27	10,500	26	0.3048	3,200.4	10	5.31	31.8	1.29
14	27.4	10,500	28	0.3048	3,200.4	10	5.44	31.8	0.87
15	28.2		27.4	0.3048				31.8	
16	29	10,500	27.6	0.3048	3,200.4	4	7.81	31.8	2.11
17	29.2	10,500	27.4	0.3048	3,200.4	10	6.00	31.8	1.16
18	30	7,500	27	0.3048	2,286	14	7.00	31.8	1.71
19	30.4	10,500	27.6	0.3048	3,200.4	10	6.37	31.8	1.23
20	31	10,500	28.2	0.3048	3,200.4	10	6.56	31.8	1.11
21	32.2	5,500	29	0.3048	1,676.4	21	6.68	31.8	0.90
22	30	10,500	27	0.3048	3,200.4	10	6.25	31.8	1.35
23	29	10,500	26.6	0.3048	3,200.4	10	5.94	31.8	1.35
24	28	7,500	26.6	0.3048	2,286	15	5.69	31.8	1.26
25	29	6,500	27.8	0.3048	1,981.2	16	6.56	31.8	1.24
26	30	7,500	27	0.3048	2,286	15	6.56	31.8	1.48
27	31	10,500	28	0.3048	3,200.4	10	6.56	31.8	1.17
28	27	10,500	26.5	0.3048	3,200.4	10	5.31	31.8	1.18
29	29.2	7,500	27	0.3048	2,286	15	6.21	31.8	1.34
30	27.2	7,500	26.4	0.3048	2,286	15	5.34	31.8	1.21

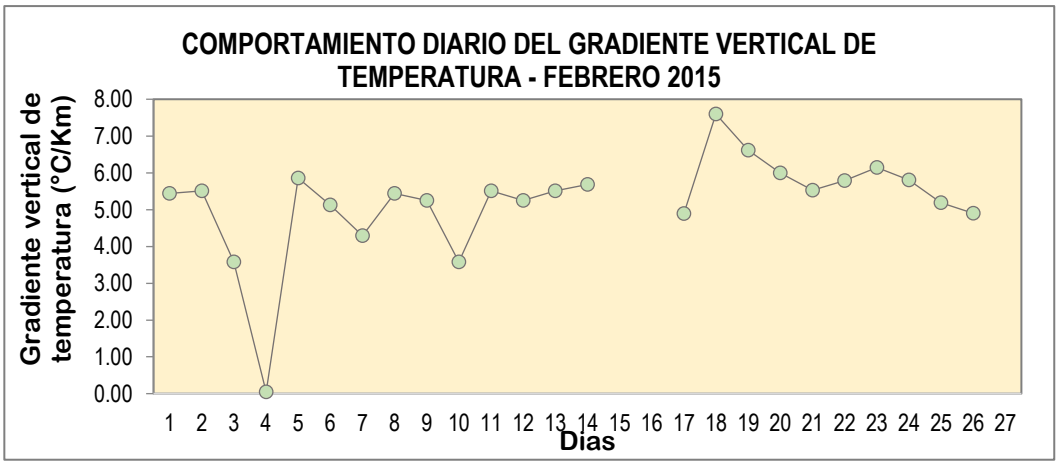
Anexo 12: procesamiento de datos del mes de diciembre 2015

MES DE DICIEMBRE, 2015									
Día	T° al nivel del suelo	Altura (H)	T° del aire (1.40 m)	Constante de conversión a metros	Altura (H) del aire	T° del aire a la altura (H) medida	dt/dz	T° mensual Max promedio	Altura (H) de la capa de mezcla atmosférica
	°C	**Ft**	**°C**		**m**	**°C**	**°C/Km**	**°C**	**Km**
1	25	10,500	23.2	0.3048	3,200.4	6	5.94	31.8	2.23
2	24.8	6,500	23.6	0.3048	1,981.2	16	4.44	31.8	1.53
3	26	5,000	25.4	0.3048	1,524	18	5.25	31.8	1.41
4	27.8	5,500	27	0.3048	1,676.4	17	6.44	31.8	1.43
5	28	8,500	27	0.3048	2,590.8	11	6.56	31.8	1.48
6	28.4	10,500	26.6	0.3048	3,200.4	10	5.75	31.8	1.28
7	29.2	10,500	26	0.3048	3,200.4	10	6.00	31.8	1.53
8	27.6	7,500	24.8	0.3048	2,286	15	5.51	31.8	1.63
9	26.6	7,500	25.6	0.3048	2,286	15	5.07	31.8	1.31
10	25.6	10,500	24.2	0.3048	3,200.4	9	5.19	31.8	1.65
11	28.6	8,500	28.2	0.3048	2,590.8	12	6.41	31.8	1.06
12	26.6	8,500	25.4	0.3048	2,590.8	12	5.64	31.8	1.54
13	29	7,500	27.6	0.3048	2,286	15	6.12	31.8	1.14
14	31	8,500	28	0.3048	2,590.8	12	7.33	31.8	1.54
15	27.6	8,500	25.6	0.3048	2,590.8	11	6.41	31.8	1.83
16	26	10,500	24.4	0.3048	3,200.4	10	5.00	31.8	1.54
17	26	8,500	24	0.3048	2,590.8	12	5.40	31.8	1.77
18	28	7,500	27	0.3048	2,286	14	6.12	31.8	1.31
19	29	5,500	26	0.3048	1,676.4	17	7.16	31.8	2.20
20	27	9,500	25	0.3048	2,895.6	8	6.56	31.8	2.10
21	27	10,500	26	0.3048	3,200.4	9	5.62	31.8	1.39
22	27	9,500	26.2	0.3048	2,895.6	8	6.56	31.8	1.73
23	27	10,500	26	0.3048	3,200.4	10	5.31	31.8	1.29
24	27.2		25	0.3048		9		31.8	
25	29		26.6	0.3048				31.8	
26	27.4	10,500	25.4	0.3048	3,200.4	10	5.44	31.8	1.47
27	27.6	10,500	25.2	0.3048	3,200.4	10	5.50	31.8	1.53
28	26.6	10,500	25	0.3048	3,200.4	10	5.19	31.8	1.47
29	27.2	10,500	27	0.3048	3,200.4	10	5.37	31.8	1.08
30	27	10,500	26	0.3048	3,200.4	10	5.31	31.8	1.29
31	29	8,500	26.4	0.3048	2,590.8	11	6.95	31.8	1.89

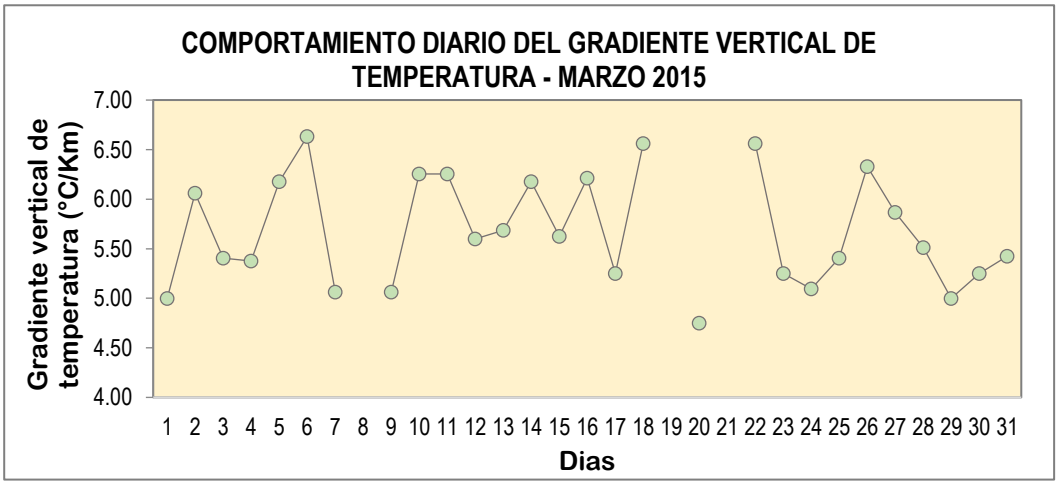
Anexo 13: comportamiento diario del gradiente vertical de temperatura del mes de enero 2015



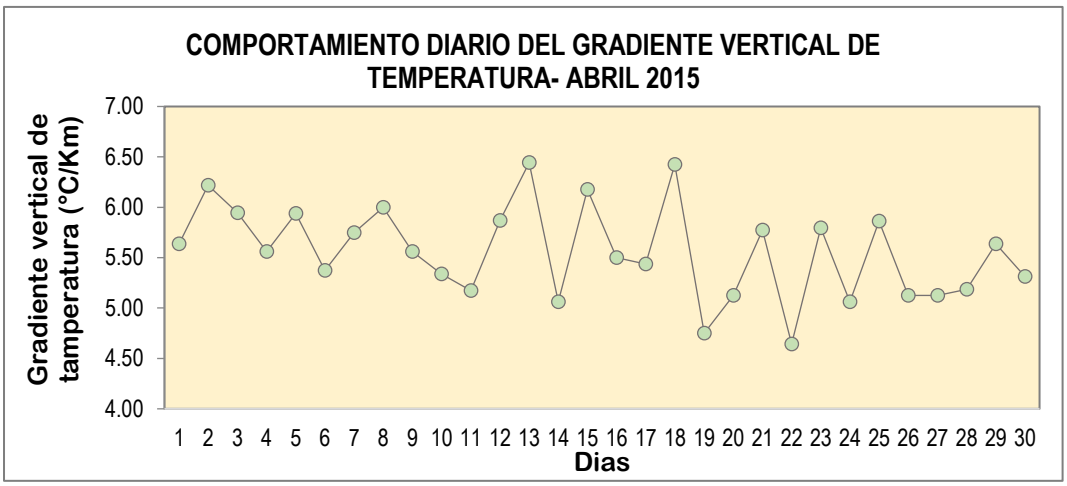
Anexo 14: comportamiento diario del gradiente vertical de temperatura del mes de febrero 2015



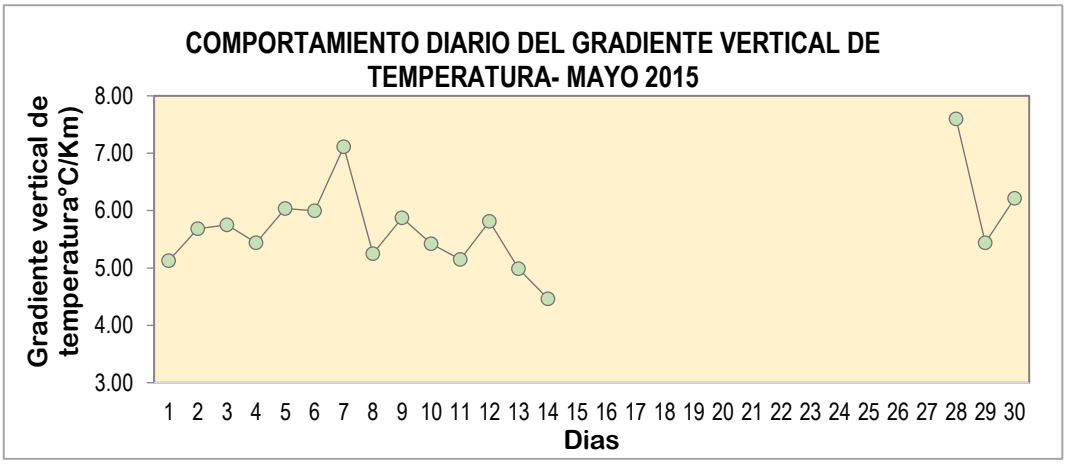
Anexo 15: comportamiento diario del gradiente vertical de temperatura del mes de marzo 2015



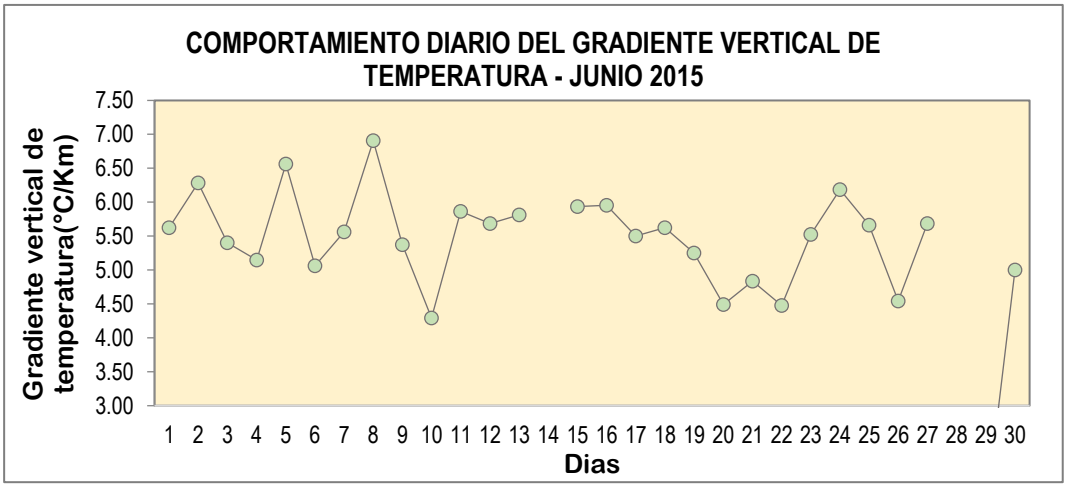
Anexo 16: comportamiento diario del gradiente vertical de temperatura del mes de abril 2015



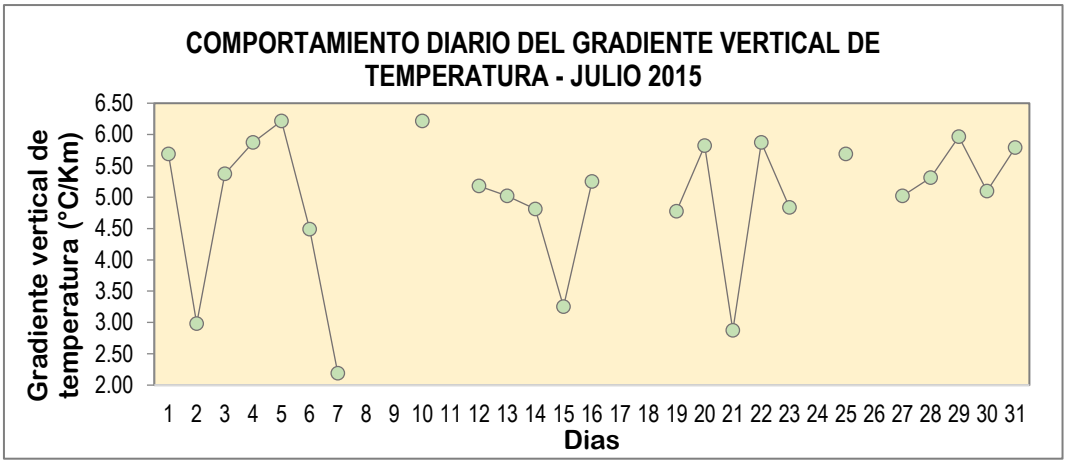
Anexo 17: comportamiento diario del gradiente vertical de temperatura del mes de mayo 2015



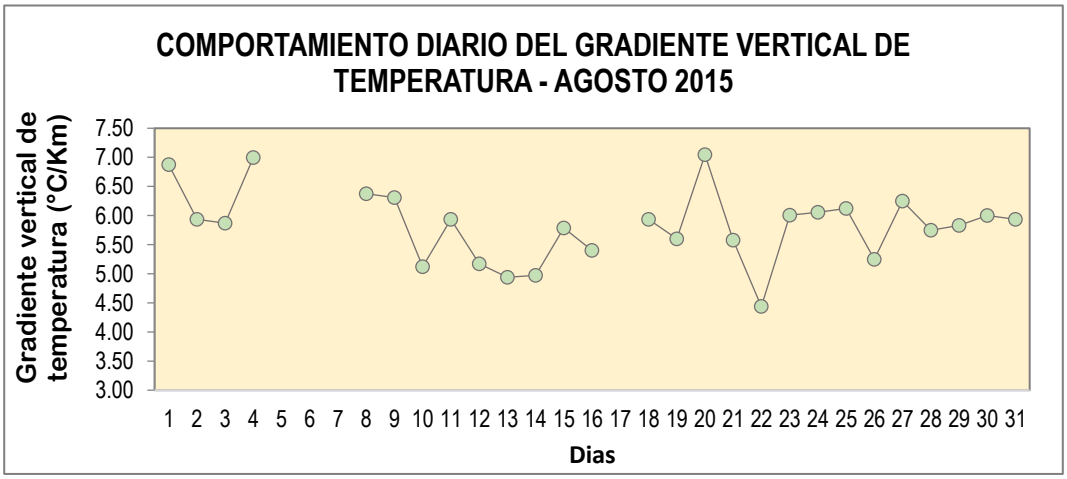
Anexo 18: comportamiento diario del gradiente vertical de temperatura del mes de junio 2015



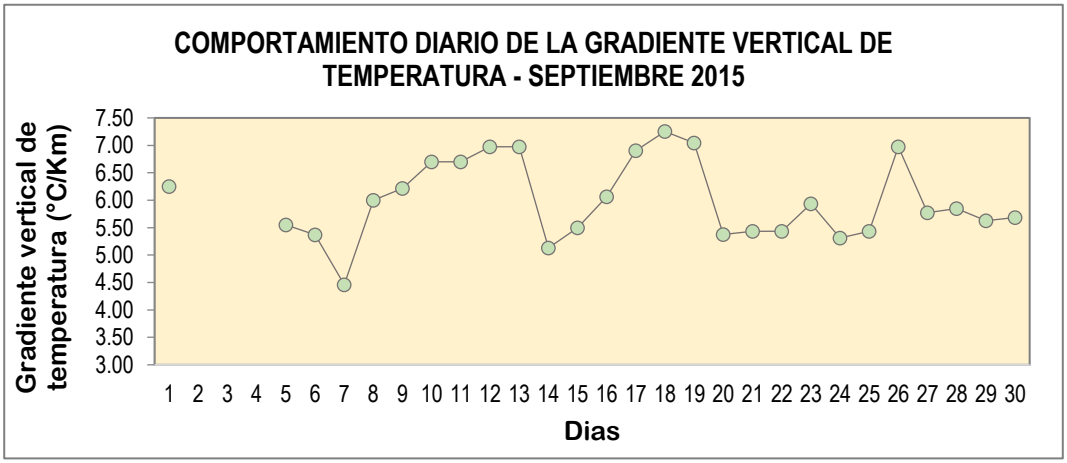
Anexo 19: comportamiento diario del gradiente vertical de temperatura del mes de julio 2015



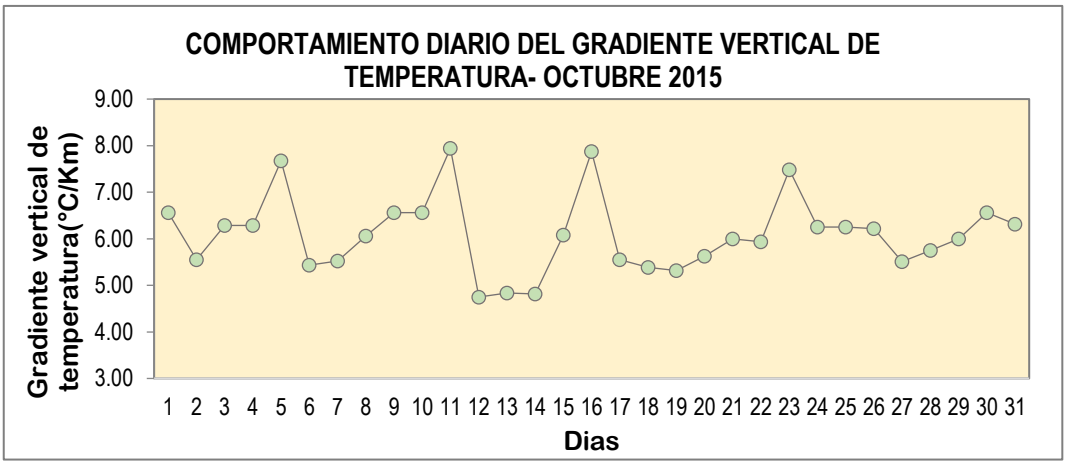
Anexo 20: comportamiento diario del gradiente vertical de temperatura del mes de agosto 2015



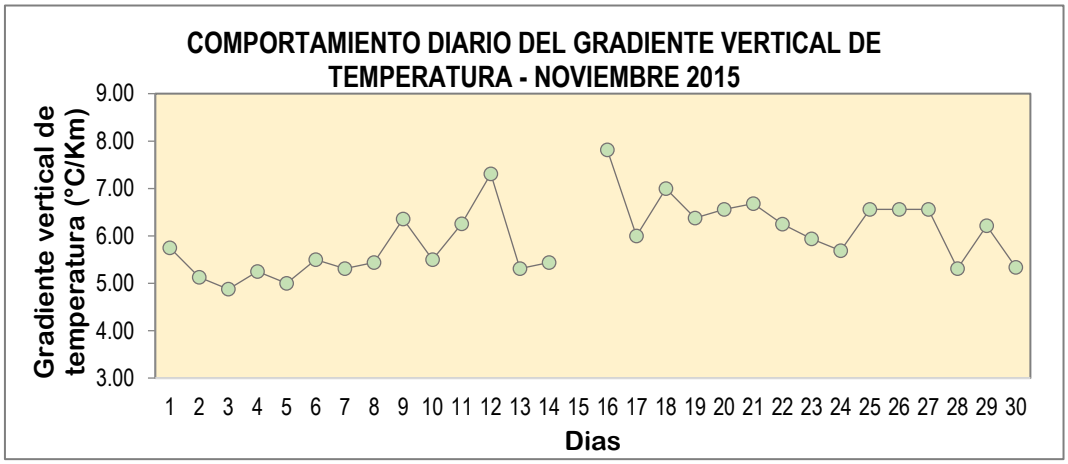
Anexo 21: comportamiento diario del gradiente vertical de temperatura del mes de septiembre 2015



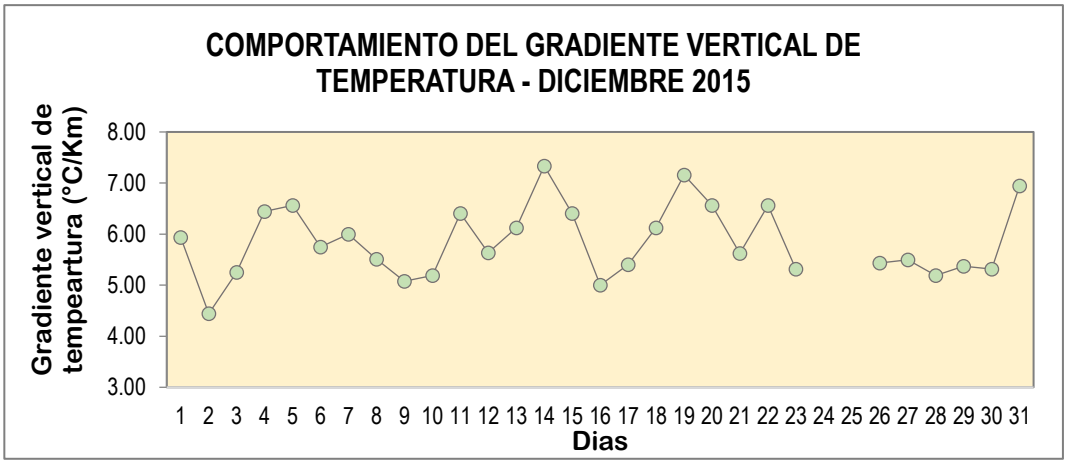
Anexo 22: comportamiento diario del gradiente vertical de temperatura del mes de octubre 2015



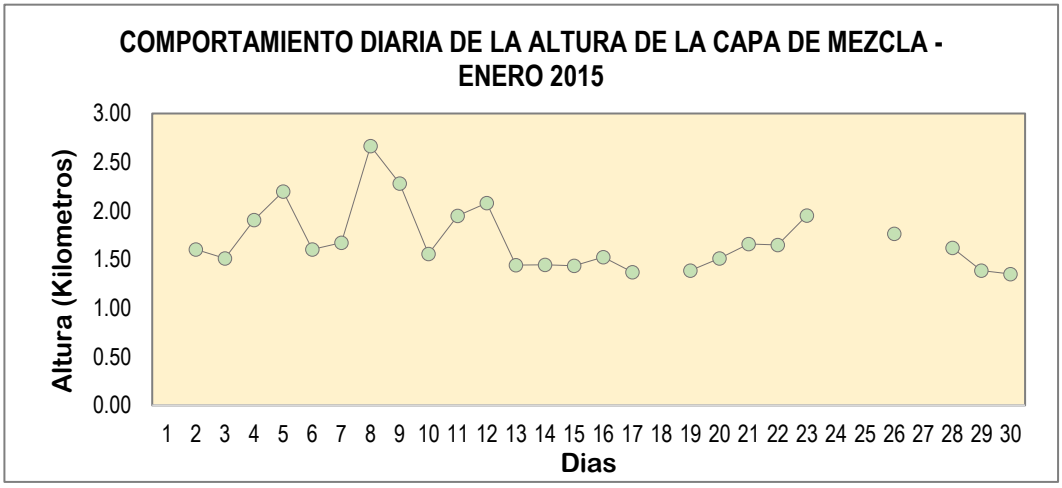
Anexo 23: comportamiento diario del gradiente vertical de temperatura del mes de noviembre 2015



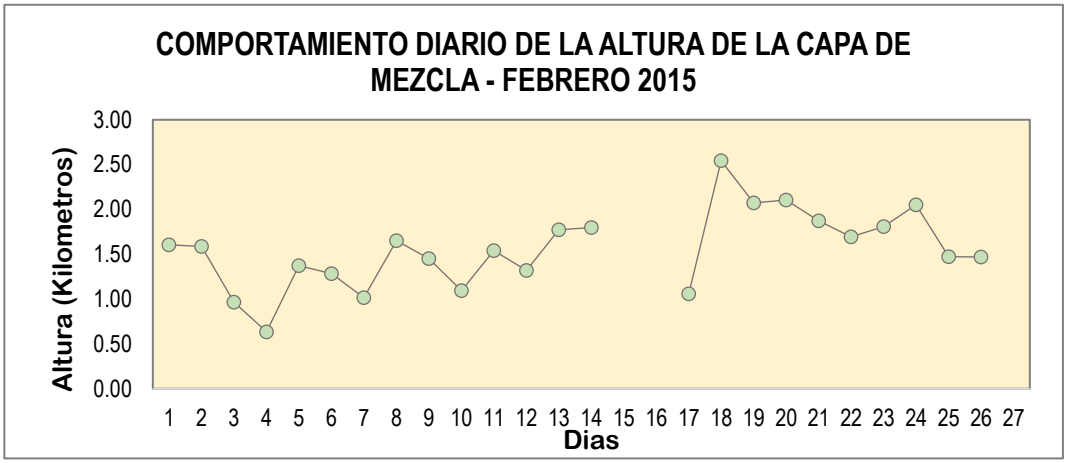
Anexo 24: comportamiento diario del gradiente vertical de temperatura del mes de diciembre 2015



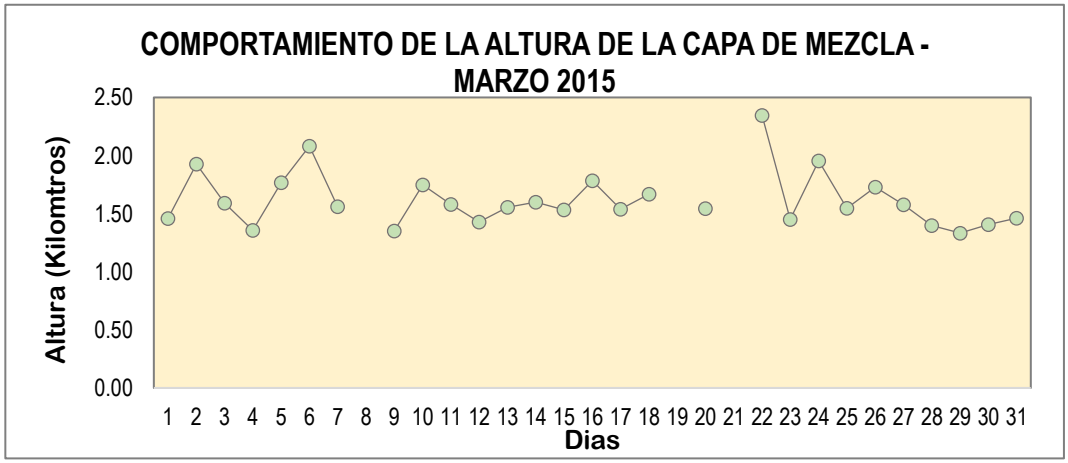
Anexo 25: comportamiento diario de la capa de mezcla del mes de enero 2015



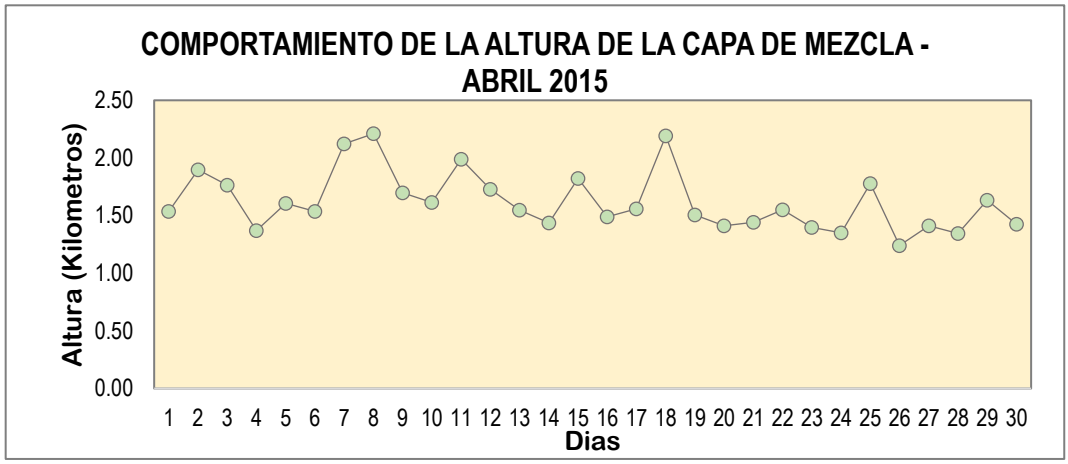
Anexo 26: comportamiento diario de la capa de mezcla del mes de febrero 2015



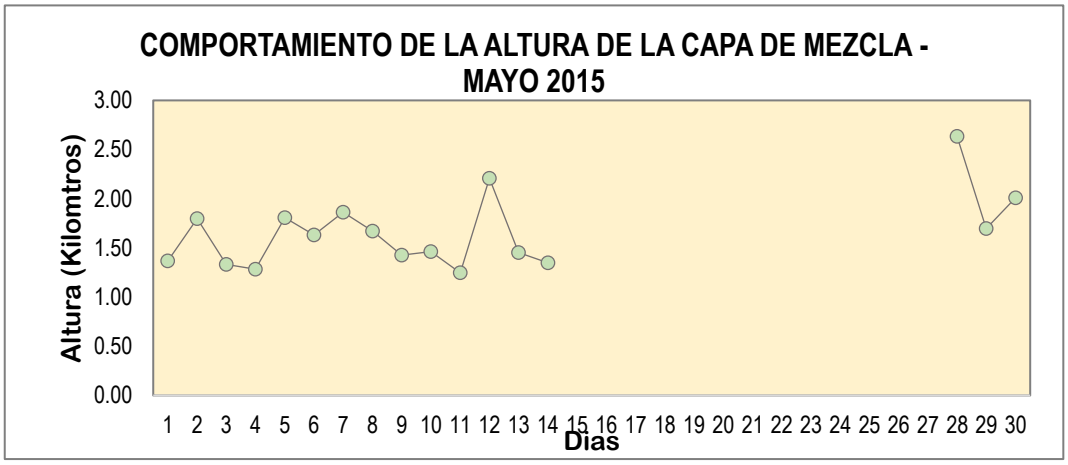
Anexo 27: comportamiento diario de la capa de mezcla del mes de marzo 2015



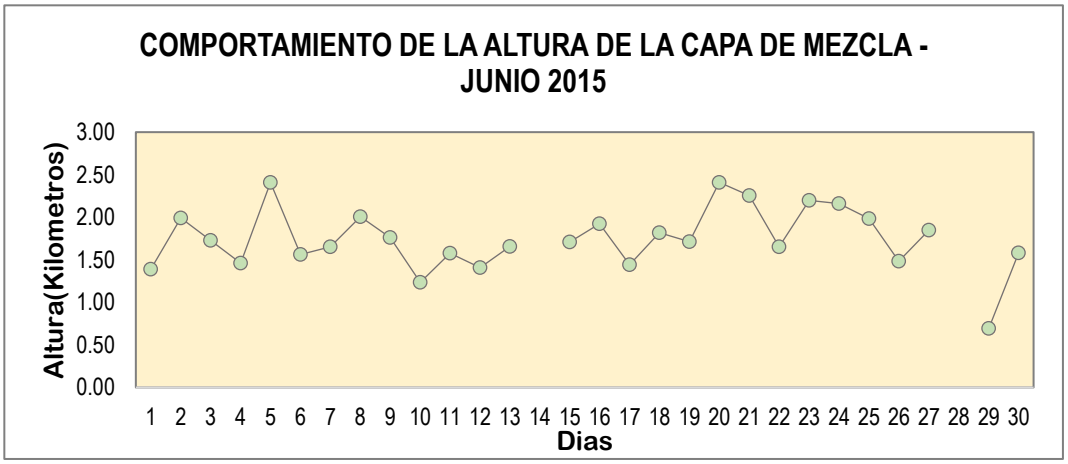
Anexo 28: comportamiento diario de la capa de mezcla del mes de abril 2015



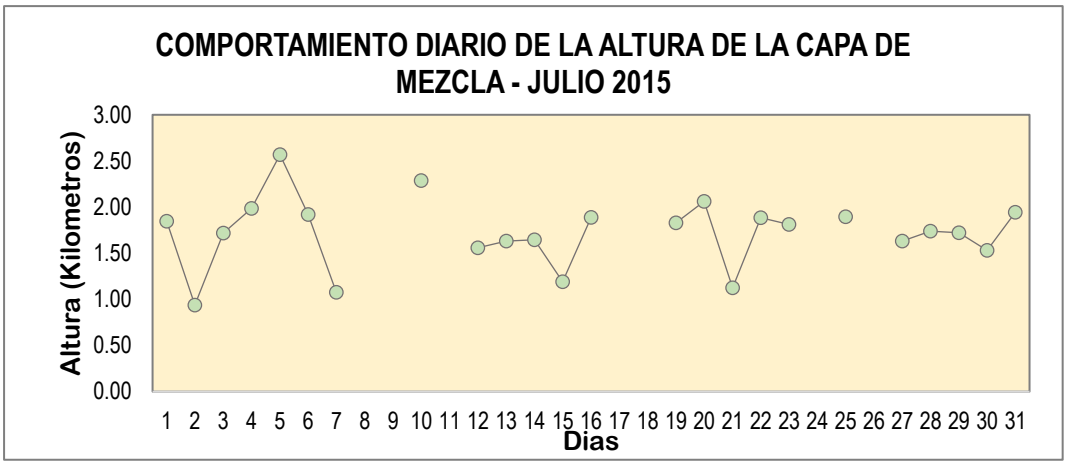
Anexo 29: comportamiento diario de la capa de mezcla del mes de mayo 2015



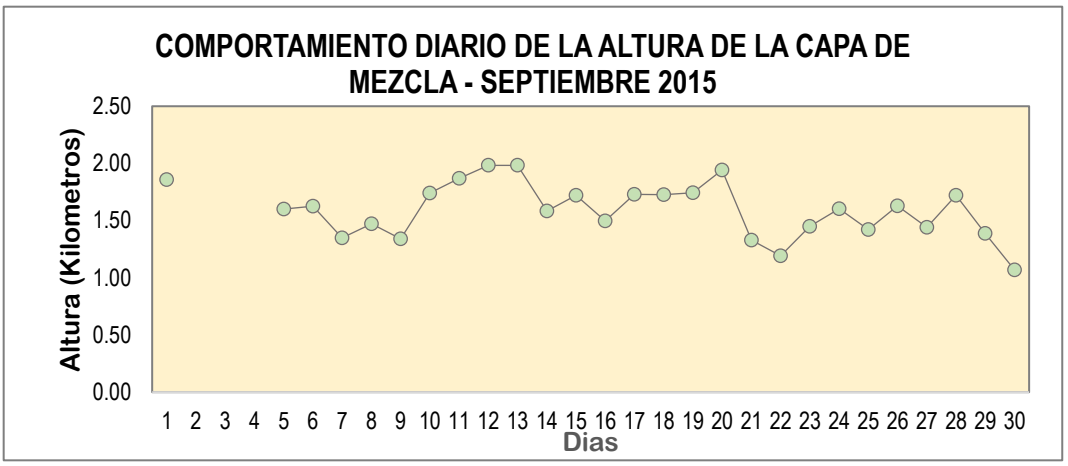
Anexo 30: comportamiento diario de la capa de mezcla del mes de junio 2015



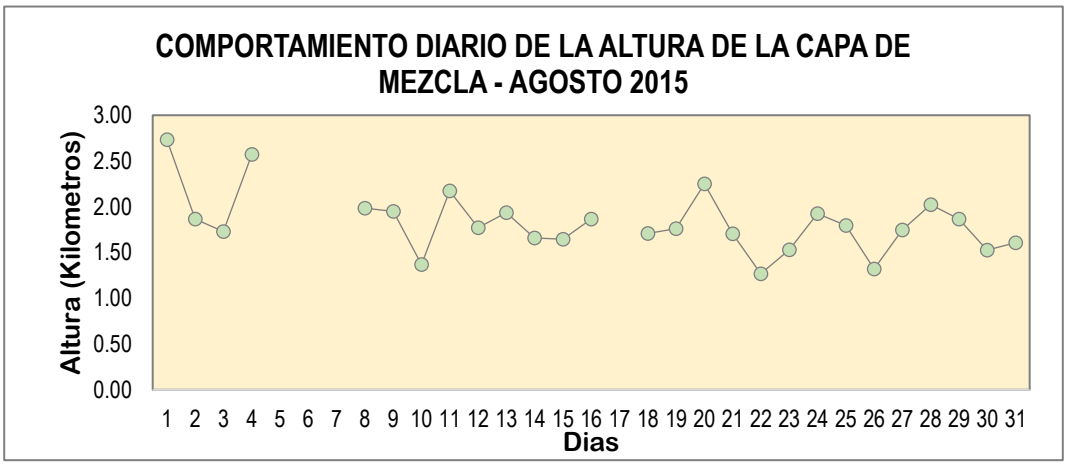
Anexo 31: comportamiento diario de la capa de mezcla del mes de julio 2015



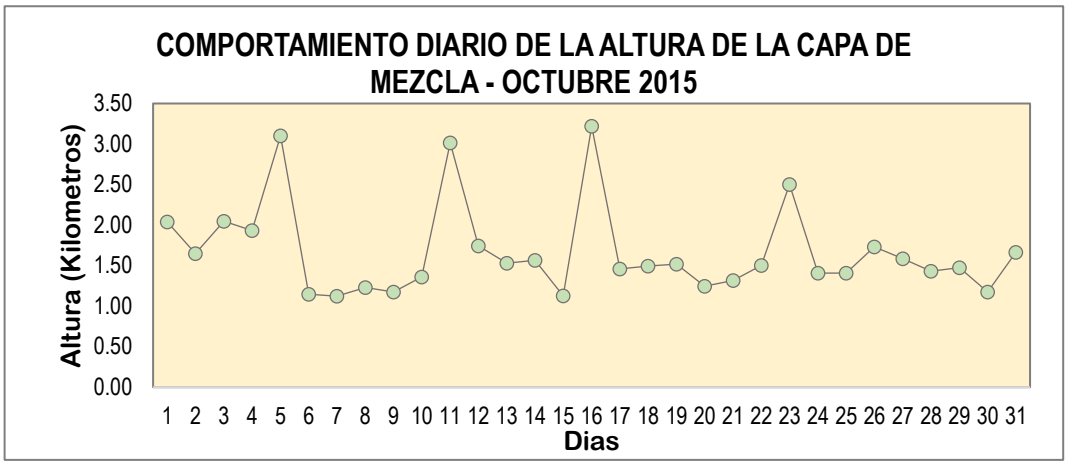
Anexo 32: comportamiento diario de la capa de mezcla del mes de agosto 2015



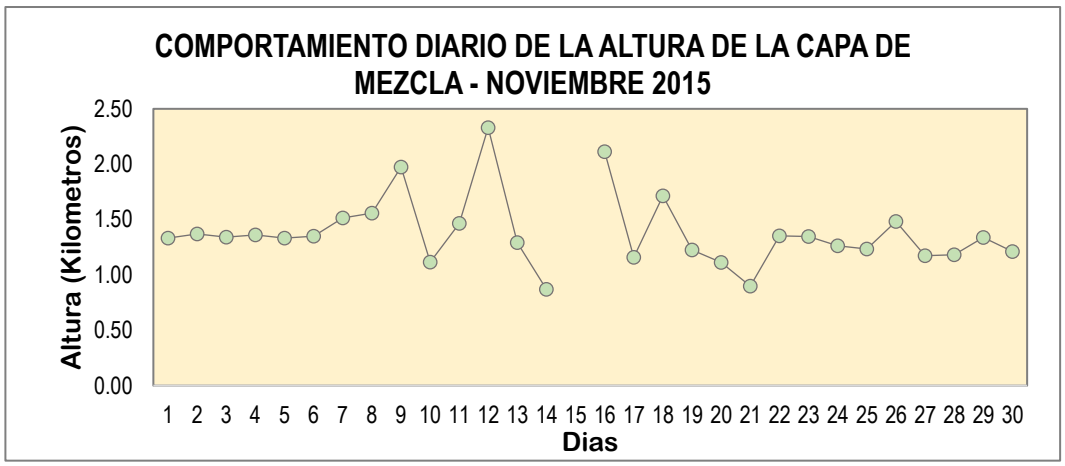
Anexo 33: comportamiento diario de la capa de mezcla del mes de septiembre 2015



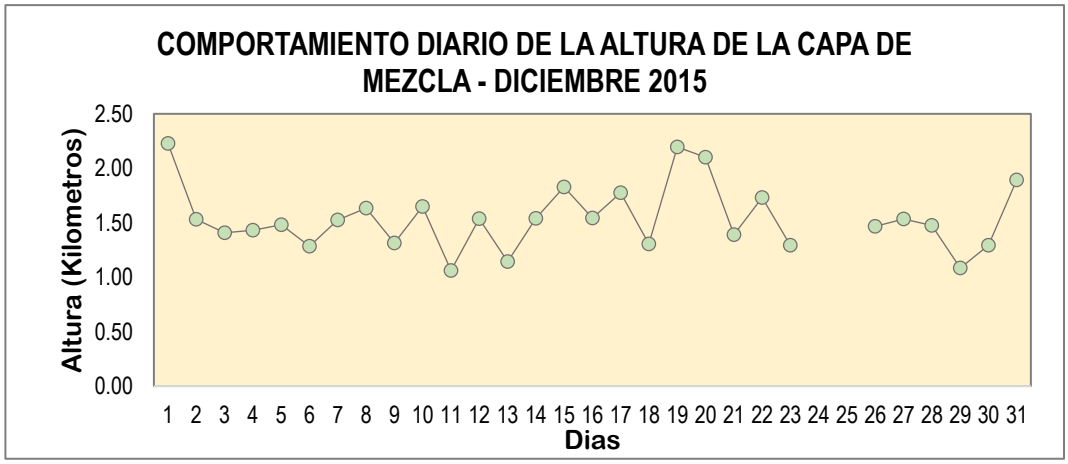
Anexo 34: comportamiento diario de la capa de mezcla del mes de octubre 2015



Anexo 35: comportamiento diario de la capa de mezcla del mes de noviembre 2015



Anexo 36: comportamiento diario de la capa de mezcla del mes de diciembre 2015



Anexo 37: Influencia de la insolación en el comportamiento de la inestabilidad y de la capa de mezcla atmosférica

MES	INSOLACION	CASOS DE INESTABILIDAD ATMOSFERICA	ALTURA DE LA CAPA DE MEZCLA
ENERO	130.8	90	1.71
FEBRERO	109.2	76	1.55
MARZO	117.4	87	1.62
ABRIL	127.7	88	1.62
MAYO	163.7	91	1.66
JUNIO	162.1	89	1.74
JULIO	200.9	93	1.73
AGOSTO	183.1	93	1.83
SETIEMBRE	171.3	87	1.59
OCTUBRE	167.2	93	1.67
NOVIEMBRE	140.7	88	1.38
DICIEMBRE	143.1	89	1.54

Anexo 38: Influencia de la insolación en el comportamiento de la inestabilidad y altura de la capa de mezcla atmosférica 2015

