



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA ESTADÍSTICA

**DETERMINACIÓN DE UMBRALES HORARIOS DE
TEMPERATURA EN LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO,
MEDIANTE METODOLOGÍA ESTADÍSTICA CON DATOS
FUNCIONALES.**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO ESTADÍSTICO

AUTOR: BRYAN ALEXANDERS SAGUAY SAGUAY

DIRECTORA: ING. AMALIA ISABEL ESCUDERO VILLA

Riobamba – Ecuador

2024

© 2024, Bryan Alexanders Saguay Saguay

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

Yo, Saguay Saguy Bryan Alexanders declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 30 de mayo del 2024

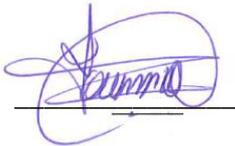


Bryan Alexanders Saguy Saguy

060499805-4

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA ESTADÍSTICA

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto de Investigación, **DETERMINACIÓN DE UMBRALES HORARIOS DE TEMPERATURA EN LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO, MEDIANTE METODOLOGÍA ESTADÍSTICA CON DATOS FUNCIONALES**, realizado por el señor: **BRYAN ALEXANDERS SAGUAY SAGUAY**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Johanna Enith Aguilar Reyes, Mgs. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2024-05-30
Ing. Amalia Isabel Escudero Villa, Mgs. DIRECTORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2024-05-30
Ing. Tania Paulina Morocho Barrionuevo, Mgs. ASESORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2024-05-30

DEDICATORIA

A mi madre Luz que ha sabido guiarme con amor en cada uno de mis pasos y siempre brindarme soporte para conseguir cada una de mis metas, a mi padre Douglas que ha sabido enseñarme de fortaleza y que con la bendición de Dios todo se puede conseguir. A mi hermano Jhonatan que con sus consejos ha sabido centrarme y permitirme seguir hasta aquí, a su vez a mi mejor amiga Angie que siempre estuvo ahí para escucharme y ayudarme en muchas ocasiones.

Bryan

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, deseo expresar mi más profundo agradecimiento a Dios, cuya inquebrantable guía y apoyo incondicional me han permitido superar obstáculos y alcanzar cada uno de los proyectos que me he propuesto. Agradezco de corazón a mi familia por ser mi mayor fuente de inspiración y fortaleza. Su amor incondicional, paciencia infinita y apoyo constante han sido pilares fundamentales en mi camino, brindándome la confianza y el aliento necesarios para perseverar. También quiero reconocer y agradecer al Grupo de Energías Alternativas y Ambiente por su generosidad al proporcionarme la valiosa información y recursos que han enriquecido este proyecto. Su colaboración ha sido fundamental para su realización y éxito. A todas las personas que de una forma u otra han contribuido a este proceso, mi más sincero agradecimiento.

Bryan

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS	xiv
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT	xvi
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	4
1.1 Planteamiento del problema	4
1.2 Problema general de investigación.....	4
1.3 Objetivos.....	4
1.3.1 <i>Objetivo general</i>	4
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i>	4
1.4 Justificación.....	5
1.4.1 <i>Justificación teórica</i>	5
1.4.2 <i>Justificación metodológica</i>	5
1.4.3 <i>Justificación práctica</i>	5
1.5 Hipótesis.....	5

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO	6
2.1 Bases Teóricas	6
2.1.1 <i>Meteorología</i>	6
2.1.2 <i>Temperatura</i>	6
2.1.3 <i>Climatología</i>	6
2.1.4 <i>Valores umbrales</i>	6
2.1.5 <i>Estaciones meteorológicas</i>	7
2.2 Bases Conceptuales	7
2.2.1 <i>Análisis funcional</i>	7
2.2.2 <i>Variable funcional</i>	7

2.2.3	<i>Dato funcional</i>	7
2.2.4	<i>Bootstrap</i>	8
2.2.5	<i>Bandas de confianza</i>	8
2.2.6	<i>Splines</i>	8
2.2.7	<i>Fourier</i>	9
2.2.8	<i>Clúster funcional</i>	9
2.2.9	<i>Interpolación funcional</i>	9
2.2.10	<i>Software estadístico R</i>	9
2.2.11	<i>Herramientas de R para datos funcionales</i>	9
2.2.12	<i>Fda</i>	9
2.2.13	<i>Fda.usc</i>	10
2.2.14	<i>Raw – Data</i>	10
2.2.15	<i>Gradiente vertical de la temperatura</i>	10

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	11
3.1	Tipo de investigación	11
3.2	Diseño de investigación	11
3.2.1	<i>Localización del estudio</i>	11
3.2.2	<i>Población de estudio</i>	11
3.2.3	<i>Tamaño de la muestra</i>	12
3.2.4	<i>Método de muestreo</i>	12
3.2.5	<i>Técnicas de recolección de datos</i>	12
3.2.6	<i>Modelo estadístico</i>	12
3.3	Identificación de variables	12
3.3.1	<i>Variable dependiente</i>	12
3.3.2	<i>Variables independientes</i>	12
3.3.3	<i>Operacionalización de variables</i>	13

CAPÍTULO IV

4.	MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	14
4.1	Procesamiento	14
4.1.1	<i>Suavizado B – spline y Fourier</i>	14
4.1.2	<i>Fijando el número de bases</i>	14

4.1.3	<i>Suavizado de curvas</i>	15
4.1.4	<i>Análisis e interpretación de resultados</i>	16
4.1.4.1	Curvas atípicas estaciones meteorológicas	16
4.1.4.2	Media y desviación estándar funcional estaciones meteorológicas	17
4.1.4.3	Covarianza funcional estaciones meteorológicas	17
4.1.4.4	Análisis de clúster estaciones meteorológicas	18
4.1.4.5	Media y desviación estándar funcional CLÚSTER 1	19
4.1.4.6	Covarianza funcional CLÚSTER 1	19
4.1.4.7	Análisis de clúster CLÚSTER 1	20
4.1.4.8	Media y desviación estándar funcional CLÚSTER 1 época lluviosa y seca	23
4.1.4.9	Covarianza funcional CLÚSTER 1 época lluviosa y seca.....	23
4.1.4.10	Umbrales horarios de CLÚSTER 1 en época lluviosa y seca.....	24
4.1.4.11	Validación de los umbrales horarios en las CLÚSTER 1 a través de gradiente vertical de temperatura	28
4.1.4.12	Media y desviación estándar funcional CLÚSTER 2	31
4.1.4.13	Covarianza funcional CLÚSTER 2	31
4.1.4.14	Análisis de clúster CLÚSTER 2	32
4.1.4.15	Media y desviación estándar funcional CLÚSTER 2 época lluviosa y seca	33
4.1.4.16	Covarianza funcional CLÚSTER 2 época lluviosa y seca.....	34
4.1.4.17	Umbrales horarios de CLÚSTER 2 en época lluviosa y seca.....	35
4.1.4.18	Validación de los umbrales horarios en las CLÚSTER 2 a través de gradiente vertical de temperatura	39
4.1.4.19	Media y desviación estándar funcional CLÚSTER 3	41
4.1.4.20	Covarianza funcional CLÚSTER 3	41
4.1.4.21	Análisis de clúster CLÚSTER 3	42
4.1.4.22	Media y desviación estándar funcional CLÚSTER 3 época lluviosa y seca	43
4.1.4.23	Covarianza funcional CLÚSTER 3 época lluviosa y seca.....	43
4.1.4.24	Umbrales horarios de CLÚSTER 3 en época lluviosa y seca.....	44
4.1.4.25	Validación de los umbrales horarios en las CLÚSTER 3 a través de gradiente vertical de temperatura	48
4.1.4.26	Media y desviación estándar funcional CLÚSTER 4	50
4.1.4.27	Covarianza funcional CLÚSTER 4	50
4.1.4.28	Análisis de clúster CLÚSTER 4	51
4.1.4.29	Media y desviación estándar funcional CLÚSTER 4 época lluviosa y seca	52
4.1.4.30	Covarianza funcional CLÚSTER 3 época lluviosa y seca.....	52
4.1.4.31	Umbrales horarios de CLÚSTER 4 en época lluviosa y seca.....	53

4.1.4.32	Validación de los umbrales horarios en las CLÚSTER 4 a través de gradiente vertical de temperatura	57
4.1.4.33	Media y desviación estándar funcional CLÚSTER 5	59
4.1.4.34	Covarianza funcional CLÚSTER 5	59
4.1.4.35	Análisis de clúster CLÚSTER 5	60
4.1.4.36	Media y desviación estándar funcional CLÚSTER 5 época lluviosa y seca	61
4.1.4.37	Covarianza funcional CLÚSTER 5 época lluviosa y seca.....	61
4.1.4.38	Umbrales horarios de CLÚSTER 5 en época lluviosa y seca.....	62
4.1.4.39	Validación de los umbrales horarios en las CLÚSTER 5 a través de gradiente vertical de temperatura.....	66
4.2	Discusión	68
4.3	Comprobación de la hipótesis	68
	CONCLUSIONES.....	69
	RECOMENDACIONES	70
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3-1: Operacionalización de las variables	13
Tabla 4-1: Clústeres de ESTACIONES.	18
Tabla 4-2: Agrupaciones mensuales de temperatura por época.....	21
Tabla 4-3: Clústeres mensuales.....	21
Tabla 4-4: Clústeres mensuales CLÚSTER 1.....	22
Tabla 4-5: Umbrales horarios CLÚSTER 1 época lluviosa.....	25
Tabla 4-6: Umbrales horarios CLÚSTER 1 época seca.....	27
Tabla 4-7: Agrupaciones por ESTACIONES	28
Tabla 4-8: Gradientes verticales de temperatura para los umbrales.....	30
Tabla 4-9: Agrupaciones mensuales de temperatura por época.....	32
Tabla 4-10: Clústeres mensuales.....	32
Tabla 4-11: Clústeres mensuales CLÚSTER 2.....	33
Tabla 4-12: Umbrales horarios CLÚSTER 2 época lluviosa.....	36
Tabla 4-13: Umbrales horarios CLÚSTER 2 época seca.....	37
Tabla 4-14: Gradientes verticales de temperatura para los umbrales.....	39
Tabla 4-15: Clústeres mensuales.....	42
Tabla 4-16: Umbrales horarios CLÚSTER 3 época lluviosa.....	45
Tabla 4-17: Umbrales horarios CLÚSTER 3 época seca.....	46
Tabla 4-18: Gradientes verticales de temperatura para los umbrales.....	48
Tabla 4-19: Clústeres mensuales.....	51
Tabla 4-20: Umbrales horarios CLÚSTER 4 época lluviosa.....	54
Tabla 4-21: Umbrales horarios CLÚSTER 4 época seca.....	55
Tabla 4-22: Gradientes verticales de temperatura para los umbrales.....	57
Tabla 4-23: Clústeres mensuales.....	60
Tabla 4-24: Umbrales horarios CLÚSTER 5 época lluviosa.....	63
Tabla 4-25: Umbrales horarios CLÚSTER 5 época seca.....	64
Tabla 4-26: Gradientes verticales de temperatura para los umbrales.....	66

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1:	Aproximación mediante base B-Splines de orden 2, 3 y 4.....	8
Ilustración 4-1:	Comparación de los suavizados Fourier y B-splines a través del RMS.....	15
Ilustración 4-2:	Curvas suavizadas con el método B-splines de ESTACIONES.....	15
Ilustración 4-3:	Curvas atípicas de la base ESTACIONES.....	16
Ilustración 4-4:	Media y desviación estándar funcional de ESTACIONES.....	17
Ilustración 4-5:	Covarianza funcional de ESTACIONES.....	17
Ilustración 4-6:	Clúster funcional de ESTACIONES.....	18
Ilustración 4-7:	Media y desviación estándar funcional de CLÚSTER 1: Alao, San Juan. ..	19
Ilustración 4-8:	Covarianza funcional de CLÚSTER 1: Alao, San Juan.....	20
Ilustración 4-9:	Análisis de clúster funcional de CLÚSTER 1: Alao, San Juan.	22
Ilustración 4-10:	Media funcional de CLÚSTER 1 época lluviosa y seca.....	23
Ilustración 4-11:	Covarianza funcional de CLÚSTER 1 época lluviosa y seca.....	23
Ilustración 4-12:	Umrales horarios CLÚSTER 1 en época lluviosa.	24
Ilustración 4-13:	Umrales horarios CLÚSTER 1 en época seca.	26
Ilustración 4-14:	Gradiente vertical de temperatura escalar.....	28
Ilustración 4-15:	Gradiente vertical de temperatura superior e inferior CLÚSTER 1 época lluviosa y seca.	29
Ilustración 4-16:	Media y desviación estándar funcional de CLÚSTER 2: Cumandá.....	31
Ilustración 4-17:	Covarianza funcional de CLÚSTER 2: Cumandá.	31
Ilustración 4-18:	Análisis de Clúster funcional mensual de CLÚSTER 2.	33
Ilustración 4-19:	Media funcional de CLÚSTER 2 época lluviosa y seca.....	34
Ilustración 4-20:	Covarianza funcional de CLÚSTER 2 época lluviosa y seca.....	34
Ilustración 4-21:	Umrales horarios CLÚSTER 2 en época lluviosa.	35
Ilustración 4-22:	Umrales horarios CLÚSTER 2 en época seca.	38
Ilustración 4-23:	Gradiente vertical de temperatura superior e inferior CLÚSTER 2 época lluviosa y seca.	40
Ilustración 4-24:	Media y desviación estándar funcional Clúster 3: Atillo, Tixán, Urbina.....	41
Ilustración 4-25:	Covarianza funcional de CLÚSTER 3: Atillo, Tixán, Urbina.	41
Ilustración 4-26:	Análisis de Clúster funcional mensual de CLÚSTER 3.	42
Ilustración 4-27:	Media funcional de CLÚSTER 3 época lluviosa y seca.....	43
Ilustración 4-28:	Covarianza funcional de CLÚSTER 3 época lluviosa y seca.....	43
Ilustración 4-29:	Umrales horarios CLÚSTER 3 en época lluviosa.	44
Ilustración 4-30:	Umrales horarios CLÚSTER 3 en época seca.	47

Ilustración 4-31: Gradiente vertical de temperatura superior e inferior CLÚSTER 3 época lluviosa y seca.	49
Ilustración 4-32: Media y desviación estándar funcional de CLÚSTER 4: ESPOCH, Matus, Quimiag y Tunshi.....	50
Ilustración 4-33: Covarianza funcional CLÚSTER 4: ESPOCH, Matus, Quimiag y Tunshi.	50
Ilustración 4-34: Análisis de Clúster funcional mensual de CLÚSTER 4.	51
Ilustración 4-35: Media funcional de CLÚSTER 4 época lluviosa y seca.....	52
Ilustración 4-36: Covarianza funcional de CLÚSTER 4 época lluviosa y seca.....	52
Ilustración 4-37: Umbrales horarios CLÚSTER 4 en época lluviosa.	53
Ilustración 4-38: Umbrales horarios CLÚSTER 4 en época seca.	56
Ilustración 4-39: Gradiente vertical de temperatura superior e inferior CLÚSTER 4 época lluviosa y seca.	58
Ilustración 4-40: Media y desviación estándar funcional de CLÚSTER 5: Multitud.	59
Ilustración 4-41: Covarianza funcional de CLÚSTER 5: Multitud.....	59
Ilustración 4-42: Análisis de Clúster funcional mensual de CLÚSTER 5.	60
Ilustración 4-43: Media funcional de CLÚSTER 5 época lluviosa y seca.....	61
Ilustración 4-44: Covarianza funcional de CLÚSTER 5 época lluviosa y seca.....	61
Ilustración 4-45: Umbrales horarios CLÚSTER 5 en época lluviosa.	62
Ilustración 4-46: Umbrales horarios CLÚSTER 5 en época seca.	65
Ilustración 4-47: Gradiente vertical de temperatura superior e inferior CLÚSTER 5 época lluviosa y seca.	67

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A:	LISTA DE LIBRERÍAS DE R UTILIZADAS EN EL ESTUDIO.
ANEXO B:	IMPORTACIÓN DE DATOS A RSTUDIO.
ANEXO C:	ARMADO DE LA BASE DE DATOS DE TEMPERATURA AMBIENTAL.
ANEXO D:	LIMITACIÓN DE LAS HORAS DE ESTUDIO.
ANEXO E:	SUAVIZADO DE CURVAS Y OPTIMIZACIÓN DE NÚMERO DE BASES SPLINES Y FOURIER.
ANEXO F:	DETECCIÓN DE CURVAS ATÍPICAS.
ANEXO G:	ANÁLISIS DE ESTADÍSTICAS DESCRIPTIVAS FUNCIONALES.
ANEXO H:	ANÁLISIS CLÚSTER FUNCIONAL.
ANEXO I:	UMBRALES HORARIOS DE TEMPERATURA AMBIENTAL.
ANEXO J:	GRADIENTE VERTICAL DE TEMPERATURA.
ANEXO J:	AVAL DE LA INVESTIGACIÓN

RESUMEN

La provincia de Chimborazo enfrenta el desafío de no contar con umbrales horarios específicos de temperatura ambiental, lo que dificulta la limpieza, validación e imputación de datos faltantes en registros de esta variable. En respuesta a esta necesidad, esta investigación se centró en definir dichos umbrales mediante técnicas estadísticas funcionales. Utilizando datos recopilados de 11 estaciones meteorológicas monitoreadas por el GEAA, se realizó un análisis exploratorio funcional para entender la variabilidad temporal de las temperaturas, identificando patrones estacionales y agrupaciones entre estaciones con comportamientos térmicos similares. Posteriormente, se aplicó el método de Bootstrap funcional para obtener distribuciones muestrales de las temperaturas, lo que proporcionó estimaciones precisas de la variabilidad climática y ayudó a evaluar la incertidumbre de las mediciones. Se establecieron bandas de confianza para las temperaturas en cada estación, facilitando la evaluación de la fiabilidad de los datos. Se determinaron umbrales horarios de temperatura en cada estación, validados con éxito mediante el gradiente vertical de temperatura, lo que confirmó su precisión y relevancia en relación con las variaciones térmicas en diferentes altitudes. Esta metodología identificó grupos estacionales y permitió distinguir dos épocas con distintas temperaturas, obteniendo umbrales horarios validados que mejoran significativamente la comprensión y gestión de los datos climáticos en la provincia de Chimborazo.

Palabras clave: <ESTADÍSTICA FUNCIONAL>, <UMBRALES HORARIOS>, <TEMPERATURA AMBIENTAL>, <ESTACIONES METEOROLÓGICAS>, <ECUADOR (PAÍS)>, <CHIMBORAZO (PROVINCIA)>.

0760-DBRA-UPT-2024



ABSTRACT

The province of Chimborazo faces the challenge of not having specific hourly thresholds for environmental temperature, which makes it difficult to clean, validate and impute missing data in records of this variable. In response to this need, this research focused on defining such thresholds using functional statistical techniques. Using data collected from 11 weather stations monitored by the GEAA, an exploratory functional analysis was performed to understand the temporal variability of temperatures, identifying seasonal patterns and groupings between stations with similar thermal behavior. Subsequently, the functional Bootstrap method was applied to obtain null distributions of temperatures, which provided accurate estimates of climate variability and helped to evaluate the uncertainty of the measurements. Confidence bands were established for temperatures at each station, facilitating the assessment of data reliability. Hourly temperature thresholds were determined at each station, successfully validated using the vertical temperature gradient, confirming their accuracy and relevance to thermal variations at different altitudes. This methodology identified seasonal groups and made it possible to distinguish two seasons with different temperatures, obtaining validated hourly thresholds that significantly improve the understanding and management of climate data in the province of Chimborazo.

Keywords: <FUNCTIONAL STATISTICS>, <HOURLY THRESHOLDS>, <AMBIENT TEMPERATURE>, <WEATHER STATIONS>, <ECUADOR (COUNTRY)>, <CHIMBORAZO (PROVINCE)>.



Edgar Mesias Jaramillo Moyano

0603497397

INTRODUCCIÓN

La meteorología ha sido objeto de estudio desde los inicios en los que el hombre concibió su primer pensamiento, por su importancia en diferentes campos de investigación, en los cuales se analizan variables como la temperatura, precipitación, radiación solar, entre otras, con la finalidad de comprender mejor los patrones climáticos, predecir eventos climáticos, tomar decisiones informadas en una amplia gama de campos y abordar desafíos globales como el cambio climático.

Una de las variables meteorológicas más estudiadas es la temperatura. El conocimiento de las fluctuaciones de la temperatura a lo largo del tiempo y en diferentes regiones geográficas es esencial para comprender los patrones climáticos, predecir eventos extremos como olas de calor o inviernos fríos, y tomar decisiones en campos tan diversos como la agricultura, la construcción, la gestión energética, la salud pública, etc.

El estudio de los umbrales horarios en climatología, específicamente en relación con la temperatura, es esencial porque permite la identificación umbrales horarios de temperatura siendo crucial para la gestión de riesgos climáticos. Ya que en diferentes momentos del día pueden estar asociados con condiciones climáticas extremas que representan riesgos y comprendiendo estos umbrales facilita la planificación y respuesta a emergencias climatológicas, como por ejemplo la activación de los planes de actuación ante los efectos de las temperaturas ya sean extremadamente bajas o elevadas que se denomina ola de calor o frío en salud pública (Montero et al., 2013) y las múltiples incertidumbres relacionadas con la variable.

El deterioro del entorno se evidencia mediante la escasez de petróleo, la falta de agua, la extinción de especies animales y vegetales. Además, se suma a estos problemas la deforestación, el aumento de la temperatura global y los cambios en el clima, todas estas señales de un desafío que impacta a la humanidad en su totalidad, afectando tanto a poblaciones de bajos recursos como a las más acomodadas, así como a naciones desarrolladas y aquellas en vías de desarrollo.

El aumento en la temperatura es un proceso que se ha venido evidenciando a partir de la Revolución Industrial. La temperatura del planeta Tierra ha sufrido un incremento aproximado de 0.76°C en los últimos 200 años según la WMO, 1995. Así comenzó la emisión de gases de efecto invernadero provocada por el hombre; pero solo en los últimos años el tema se ha vuelto protagonista de estudios e investigaciones, debido a que este incremento en la temperatura se ha acelerado, generando impactos económicos, sociales y ambientales alrededor del mundo (Alvarino y Ocampo, 1993).

La temperatura ambiental es considerada el principal factor determinante de la adaptación de las especies en diferentes áreas, debido a que modifica varias funciones importantes; además, es un

indicador de la cantidad de energía almacenada en el aire, generalmente medida en °C. La temperatura global ha aumentado a lo largo de los años, tal y como predicen las previsiones climáticas que muestran un aumento entre 1 y 3,7°C a finales de siglo en el caso de Ecuador han sido advertido que del 2040 al 2070 la temperatura en el país andino aumentará 2,7°C (Peralta et al., 2023).

La provincia de Chimborazo, con su diversidad geográfica y climática, representa un escenario idóneo para esta investigación. Al obtener umbrales horarios precisos y significativos, se establecerá una base sólida para abordar temas cruciales como el monitoreo y la adaptación al cambio climático, la planificación de actividades agrícolas sensibles a la temperatura y la prevención de riesgos relacionados con extremos térmicos.

Para esto, se sabe que, para identificar patrones o variaciones en las condiciones climáticas, es esencial recopilar información sobre los elementos que definen el clima. Esto se logra mediante un seguimiento regular y sistemático a lo largo de un extenso periodo de años.

La metodología estadística de datos funcionales permite modelar y analizar la evolución continua de las temperaturas a lo largo del día, abarcando la variabilidad intra-diaría y las características específicas de la serie temporal (Anderson, et al., 2008).

En muchas disciplinas donde se requiere Análisis de Datos, las mediciones obtenidas pueden ser susceptibles de ser consideradas como curvas que como una respuesta escalar o un vector. Por ejemplo, este tipo de datos es común como resultado de monitorizar procesos o fenómenos en el tiempo. La toma de este tipo de datos se está realizando cada vez con más frecuencia, debido al informatizado y automatizado de las tecnologías aplicadas en la recogida de datos (Picón, 2019).

Se menciona la necesidad de adaptaciones del análisis de datos clásico que permitan trabajar con funciones, ofreciendo soluciones más adecuadas para abordar la naturaleza continua de los datos implícitos. No obstante, una vez se han definidos las técnicas y herramientas, esa dimensionalidad infinita favorece un estudio más rico de las características de los datos.

Aunque los datos analizados son curvas, la información observada se presenta de manera discreta, representada por vectores de dimensiones finitas. Sin embargo, aplicar técnicas estándar de análisis multivariante a estos vectores suele proporcionar resultados imprecisos o computacionalmente costosos.

El enfoque metodológico se basará en el análisis detallado de datos climáticos históricos, obtenidos de estaciones meteorológicas estratégicamente ubicadas en la provincia de Chimborazo. La aplicación de técnicas estadísticas avanzadas permitirá extraer patrones

significativos y contribuir al desarrollo de herramientas de pronóstico climático en la región. (Brown y Ramírez, 2010).

Un primer trabajo realizado en la zona de interés corresponde al: “Análisis geoestadístico de datos funcionales de temperatura del aire en la provincia de Chimborazo”, cuyo objetivo fue modelar y estimar la temperatura del aire en zonas no muestreadas de la provincia de Chimborazo mediante técnicas geoestadísticas con datos funcionales” (Checa, 2020).

Un segundo trabajo fue referente a “Teoría de valores extremos para el análisis de la precipitación de la estación meteorológica ESPOCH (1976 – 2019)” cuyo objetivo fue analizar la distribución de probabilidad de los valores extremos, variabilidad y comportamiento. Para el estudio se utilizaron los registros meteorológicos de la estación ESPOCH, estos datos fueron analizados y validados considerando los umbrales establecidos por el GEAA, el análisis se llevó a cabo, mediante la técnica de la teoría de valores extremos (Vargas, 2021).

Existen otros estudios, donde se utiliza Análisis de datos Funcionales, el cual engloba una gran variedad de métodos estadísticos, superficies o cualquier otra función que varía de forma continua. El estudio denominado "Análisis de Datos Funcionales Aplicado al Riesgo Financiero" utiliza técnicas funcionales para el análisis, detectando datos atípicos, y construyendo modelos para poder clasificarlos (Castillo et al., 2015, pp. 5-7).

En otro estudio referente a la “Predicción de la temperatura ambiental mediante modelos estadísticos funcionales de las estaciones monitoreadas por el GEAA en la Provincia de Chimborazo (2014-2019)” el que tenía como objetivo predecir la temperatura ambiental, mediante modelos estadísticos funcionales de las 11 estaciones, haciendo uso de los datos almacenados desde el año 2014 al 2019 por el Grupo de Energías Alternativas y Ambiente (GEAA) (Mariño, 2021, p. 5).

En síntesis, este estudio se presenta como un aporte valioso para la comunidad científica y las instituciones gubernamentales, al brindar información relevante para la gestión del clima y el diseño de estrategias de adaptación en esta región. Asimismo, se espera que los resultados de esta investigación fomenten el debate y la concienciación sobre la importancia de la estadística aplicada en la comprensión y abordaje de los desafíos climáticos locales y globales.

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Planteamiento del problema

La caracterización de el comportamiento de variables meteorológicas es compleja, especialmente en zonas como la provincia de Chimborazo debido a la existencia de microclimas influenciadas por la cordillera de los Andes. Uno de los problemas más importantes es el desconocimiento de umbrales que permitan la limpieza, validación e imputación de datos ausentes, especialmente de los registros de temperatura.

1.2 Problema general de investigación

¿Cuáles son los umbrales horarios de temperatura en la Provincia de Chimborazo, mediante metodología estadística con datos funcionales?

1.3 Objetivos

1.3.1 *Objetivo general*

Definir umbrales horarios de temperatura en la provincia de Chimborazo mediante técnicas estadísticas funcionales.

1.3.2 *Objetivos específicos*

- Realizar un análisis exploratorio funcional de las temperaturas registradas en las 11 estaciones meteorológicas monitoreadas por el GEAA-ESPOCH en la provincia de Chimborazo.
- Identificar las distribuciones muestrales mediante el método de Bootstrap.
- Identificar bandas de confianza de temperatura en cada estación meteorológica.
- Establecer los umbrales horarios de temperatura en las diferentes estaciones meteorológicas.
- Validar los umbrales establecidos mediante técnica de gradientes.

1.4 Justificación

1.4.1 Justificación teórica

El presente trabajo de investigación se establece por la necesidad de comprender los umbrales horarios de temperatura en la provincia de Chimborazo, ya que es esencial para anticiparse y adaptarse a los impactos del cambio climático. Además, que la determinación de umbrales horarios de temperatura también tiene implicaciones teóricas para la validación de modelos climáticos y a su vez los datos recopilados de este proyecto pueden utilizarse para mejorar la precisión de estos modelos, por lo tanto, contribuir a la teoría en el campo de la climatología.

1.4.2 Justificación metodológica

Este trabajo de investigación tiene como finalidad determinar umbrales horarios de temperatura en la provincia de Chimborazo mediante metodología con datos funcionales, los cuales pueden ser utilizados para planificar y responder a situaciones de emergencia, como incendios forestales, sequías y otros desastres naturales a menudo relacionados con condiciones climáticas extremas.

1.4.3 Justificación práctica

La presente investigación se planteó con la finalidad de aplicar estadística funcional para comprender el comportamiento de los umbrales horarios de temperatura en la provincia de Chimborazo. Dado que la estadística funcional se adapta naturalmente a este tipo de datos, permitiendo analizar las variaciones a lo largo del día de manera más precisa y detallada.

1.5 Hipótesis

Los métodos estadísticos con datos funcionales permitirán definir umbrales acordes a las características específicas de las temperaturas registradas en la provincia de Chimborazo.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Bases Teóricas

2.1.1 Meteorología

Es una ciencia que estudia los fenómenos de la atmósfera y sus propiedades en un tiempo y lugar específico, describe condiciones climáticas y su evolución en un tiempo determinado. El estudio de la atmósfera implica observar una serie de magnitudes o variables meteorológicas, las mismas que varían según el espacio geográfico y el tiempo (Rodríguez, et al., 2004, p. 6).

2.1.2 Temperatura

Es una magnitud que se relaciona con la rapidez del movimiento de las partículas que constituyen la materia, a mayor agitación que se presente, mayor será la temperatura. Es una de las variables que se usa para explicar la atmósfera, la misma que cambia en el transcurso del día y noche, dependiendo del lugar, altitud y latitud. El instrumento utilizado para medir registros de temperatura se llama termómetro de mercurio y su unidad de medida está dada en escala de Celsius, expresada en grados centígrados (°C) y en escala de Fahrenheit (°F) (Rodríguez, et al., 2004, p. 15-16).

2.1.3 Climatología

La climatología se describe como el estudio científico del comportamiento de la atmósfera, es decir, la delgada capa gaseosa que rodea la superficie de la Tierra (Rohli y Vega, 2017, p. 3) .

2.1.4 Valores umbrales

Estos son considerados para comprobar si existen valores permanecen dentro de los bordes aceptables, estos precisan de varios factores meteorológicos de una zona o época del año (Gato, et al., 2007, p. 367).

2.1.5 Estaciones meteorológicas

Las estaciones meteorológicas permiten monitorear, analizar y recoger las lecturas provenientes de variables climáticas como la presión atmosférica, la temperatura del medio, la dirección y velocidad del viento entre otras de forma simultánea (Bravo, García y Muñoz 2012, p. 1).

2.2 Bases Conceptuales

2.2.1 Análisis funcional

A diferencia de la forma discreta, una variable funcional presenta una diferencia ya que estas se pueden estimar en su dominio, además que estas se presentan en manera de curvas $\{X_1(t), \dots, X_n(t)\}$ con $t \in T$. Tomando t se permite visualizar cada curva en cualquier momento $x_i = (x_i(t_0), \dots, x_i(t_{mi}))'$ o el conjunto de tiempos $t_0, \dots, t_{mi}, i = 1, \dots, n$ y estos no son necesariamente los mismos para cada curva. Se busca construir una forma funcional de las curvas para evaluarlas en cualquier momento t . Este método asume que las curvas o trayectorias de las muestras son de dimensión finita, representado en base de funciones $\{\phi_1(t), \dots, \phi_p(t)\}$ y expresado como:

$$x_i(t) = \sum_{j=1}^p a_{ij} \phi_j(t) \quad i = 1, \dots, n$$

La estructura de la función se resuelve cuando se obtienen los coeficientes $a_i = (a_{i1}, \dots, a_{ip})'$. Los coeficientes base se obtienen teniendo en cuenta las particularidades de cada curva, a través de datos discretos aplicando interpolación o mínimo cuadrados (Castillo, et al., 2015, p. 15).

2.2.2 Variable funcional

Tomando X como una variable aleatoria con valores dentro de la función ε , en la que la representación de esa se muestra como un conjunto de puntos $t_j, j = 1, \dots, d$, que tienen distancias distantes (Castillo, et al., 2015, p. 19-25).

2.2.3 Dato funcional

Este se trata de una observación que en lugar de ser un valor discreto se presenta como una función de n variables X_1, \dots, X_n idénticamente distribuidas. (Castillo, et al., 2015, p. 3).

2.2.4 Bootstrap

A nivel conceptual, el bootstrap puede incluirse dentro del enfoque mayor del remuestreo de datos, el cual comprende una variedad de técnicas que implementan procesos de simulación por computadora para estimar probabilidades empíricas a partir de experimentos con los propios datos (Rudner y Shafer 1992).

2.2.5 Bandas de confianza

Las Bandas, límites o intervalos de confianza son utilizadas para pronósticos, es decir, valores futuros. Debido a que es interesante al momento de hacer predicciones, no solamente conocer una observación, sino también la suma de k-futuras observaciones. Por ejemplo, al hablar de ventas, sería de utilidad conocer el pronóstico del total de ventas en un año (Iglesias, 2002).

La predicción de la suma de k futuras observaciones está dada por la suma de los respectivos pronósticos. Para hallar las bandas de confianza se usa la fórmula:

$$\sigma_{t+k} = \sigma |S_{t+k}|$$

Donde:

$$\left(\frac{n}{n-1}\right) \text{MSD} \sim \sigma$$

2.2.6 Splines

Son una técnica que permite ajustar una función partiendo de segmentos o polinomios. Parten desde un dominio de una función el cual se divide en segmentos para posteriormente aproximar la función con un polinomio con un grado bajo.

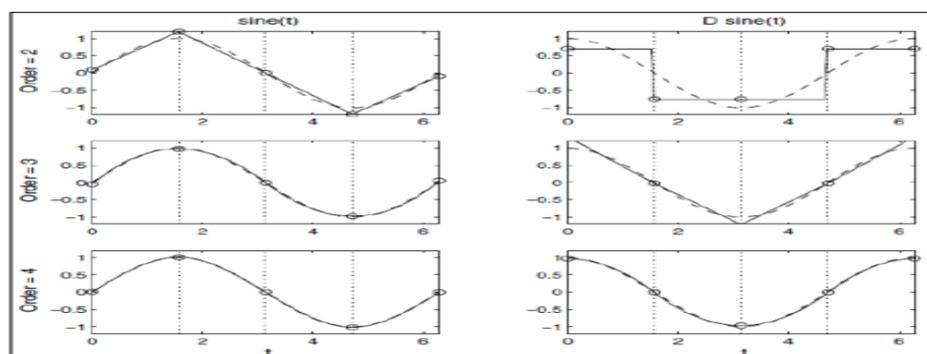


Ilustración 2-1: Aproximación mediante base B-Splines de orden 2, 3 y 4.

Realizado por: Saguay B., 2023.

Las splines tienen una preferencia teniendo ventajas a adaptarse de mejor manera a cambios a diferencia de funciones de otro tipo o polinómicas, siendo las splines $p=3$ las más usadas definidas como cúbicas (Jiménez, 2018).

2.2.7 *Fourier*

Son una herramienta útil para el tratamiento de señales no periódicas, la cual asume que una función no periódica es una función periódica con periodo T que tiende al infinito. (Gasquet y Witomski, 2013).

2.2.8 *Clúster funcional*

Es una técnica que tiene como objetivo construir grupos homogéneos dentro de un conjunto de curvas (Pérez et al., 2018).

2.2.9 *Interpolación funcional*

Es un procedimiento numérico para aproximar valores de una función (Gómez et al., 2010).

2.2.10 *Software estadístico R*

R es un instrumento que suele ser ocupado para analizar datos, que presenta ventajas como que es de código abierto, potente y gratuito, que presentan una gran cantidad de librerías y paquetes para distintos tipos de análisis, entre estos el análisis con datos funcionales, series temporales, entre otros (Santana y Farfán 2014, p. 7).

2.2.11 *Herramientas de R para datos funcionales*

En el ADF coexisten diversas técnicas de análisis en función del objetivo que se persiga con la investigación. El trabajo se centra principalmente en tres: las componentes principales, la detección de outliers y el análisis clúster (Pérez, 2018).

2.2.12 *Fda*

Este paquete de R proporciona conjuntos de datos y archivos de script diseñados para análisis de datos en matrices o marcos de datos. Incluye funciones para calcular medias, covarianzas.

Además, estas herramientas pueden aplicarse a muestras de funciones o curvas. (James et al., 2009).

2.2.13 *Fda.usc*

Es un paquete R que realiza análisis exploratorio y descriptivo de datos funcionales. Ofrece medidas de profundidad, detección de outliers y modelos de regresión funcional, incluyendo regresión no paramétrica y análisis de componentes principales funcionales (Febrero et al., 2012).

2.2.14 *Raw – Data*

Estos métodos aplican las técnicas clásicas sobre una discretización de cada curva en el tiempo. Tienen la ventaja de ser muy simples de implementar y el investigador puede acceder fácilmente a los datos, ya que nunca se dispone de una curva como tal, sino que esta es reconstruida a partir de puntos. Si además se posee una gran cantidad de mediciones, será necesario recurrir a algoritmos clúster eficientes para tratar semejante volumen de información, todo ello sin contar con que las observaciones pueden contener errores experimentales (Pérez, 2018).

2.2.15 *Gradiente vertical de la temperatura*

Describe la variación de la temperatura con respecto a una distancia. Donde, la presencia de un gradiente permite un traspaso de calor desde un punto caliente a uno frío (Pérez y Sendiña, 2006). La temperatura es una magnitud que toma un valor diferente para un punto distinto en el espacio, por lo que se lo puede describir de manera escalar:

$$T = T(x, y, z)$$

En el que x, y, z son las coordenadas del punto considerado. Tomando en cuenta que el valor de la temperatura proviene de una función continua, el gradiente ∇T viene dado por las derivadas parciales.

$$\nabla T = \left(\frac{\delta T}{\delta x}, \frac{\delta T}{\delta y}, \frac{\delta T}{\delta z} \right)$$

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo de investigación

Por el tipo de investigación es cuantitativa, dado que se manejarán datos obtenidos por registros de temperaturas de las 11 estaciones meteorológicas instaladas en la provincia de Chimborazo desde el 2014-2022. Según el objeto de estudio es aplicada, ya que mediante los métodos estadísticos con datos funcionales se podrá definir umbrales acordes a las características específicas de las temperaturas registradas en la provincia de Chimborazo. Según el tipo de inferencia es inductiva debido a que la investigación parte de datos específicos y utiliza el análisis estadístico para llegar a conclusiones generales sobre los umbrales horarios de temperatura en la provincia de Chimborazo. Según el periodo temporal es transversal dado que no se da un seguimiento durante el tiempo determinado de estudio y a su vez la variable en cuestión.

3.2 Diseño de investigación

Según el nivel de profundización en el objetivo de estudio es exploratorio, ya que el estudio realizado es específico y no ha sido profundizado dentro de la entidad. Según la manipulación de variables es no experimental, puesto que no se hará ninguna manipulación de datos en los registros de temperaturas de las 11 estaciones meteorológicas instaladas en la provincia de Chimborazo proporcionados por el GEAA-ESPOCH.

3.2.1 *Localización del estudio*

El presente trabajo de investigación se realizó en la provincia de Chimborazo, con datos proporcionados por el GEAA, cuyos registros fueron obtenidos de temperaturas de las 11 estaciones meteorológicas instaladas en la provincia de Chimborazo desde el 2014-2022.

3.2.2 *Población de estudio*

Está conformada en su totalidad con los registros de temperatura tomados de manera horaria en las 11 estaciones meteorológicas ubicadas en la provincia de Chimborazo.

3.2.3 *Tamaño de la muestra*

No se aplica un tamaño de la muestra dado que los datos son proporcionados directamente por el grupo de investigación GEAA, por tanto, se trabajará con las temperaturas de las 11 estaciones meteorológicas ubicadas en la provincia de Chimborazo.

3.2.4 *Método de muestreo*

No se aplica muestreo dado que los datos son proporcionados directamente por el grupo de investigación GEAA.

3.2.5 *Técnicas de recolección de datos*

No se aplica recolección de datos dado que los datos son proporcionados directamente por el grupo de investigación GEAA.

3.2.6 *Modelo estadístico*

Se analizará el comportamiento de la temperatura mediante modelos estadísticos con datos funcionales, considerando los datos registrados en cada hora durante los 8 años (periodo de estudio). Se considerará el análisis exploratorio funcional. En el que se incluya un análisis exhaustivo de la variabilidad. Con el método Bootstrap se construirá las bandas de confianza, las cuales permitirán identificar los umbrales adecuados para la temperatura.

3.3 *Identificación de variables*

3.3.1 *Variable dependiente*

- Temperatura

3.3.2 *Variables independientes*

- Latitud
- Longitud
- Tiempo

3.3.3 Operacionalización de variables

Tabla 3-1: Operacionalización de las variables

Variable	Concepto	Indicador	Instrumento
Latitud	La latitud es la distancia angular que hay entre un punto cualquiera de nuestro planeta Tierra y la línea que lo divide al medio, es decir, el Ecuador.	Metros	GPS
Longitud	La longitud puede designar diferentes nociones, dependiendo del ámbito específico, pero siempre en el sentido de una distancia plana y lineal.	Metros	GPS
Tiempo	El tiempo es la duración de las cosas cambiantes. Periodo, hora, día.	Horas Días	Reloj Calendario
Temperatura	La temperatura es una cantidad física que indica la energía interna de un objeto o ambiente en general, medida con un termómetro.	Grados	Termómetro

Fuente: Elaboración propia

Realizado por: Saguay B., 2023.

CAPÍTULO IV

4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Para abordar los objetivos de esta investigación, se implementó una estrategia integral. En primer lugar, se realizó un análisis exploratorio funcional de los datos. Seguido de examinar y perfeccionar un modelo que permitiera una suavización efectiva de las gráficas de temperatura, se identificó las distribuciones muestrales mediante la aplicación del método de Bootstrap. Esta observación brindó información para la construcción de las bandas de confianza de las temperaturas analizadas para cada una de las estaciones. Para posteriormente establecer umbrales horarios de temperatura y luego validarlos con el método de gradiente vertical de temperatura el cual es una técnica física.

4.1 Procesamiento

4.1.1 Suavizado B – spline y Fourier

El suavizado de los datos funcionales se aplicó con el objetivo de mitigar los sesgos en los resultados, considerando las bases más utilizadas que son B- spline y Fourier.

4.1.2 Fijando el número de bases

En este caso para la búsqueda del número de bases óptimas se realizó sin fijar el número de bases o también llamado numbasis, a partir de la función `optim.basis()` de la librería `fda.usc` que permite diferenciar el tipo de bases como es el caso de “bspline” y “fourier”, luego se aplicó `min(nbopt_f$numbasis)` para obtener el número óptimo mínimo de bases para la investigación.

El número de bases óptimo que se obtuvo fue de 22 bases en el caso de “bspline” y “fourier”, para notar una diferencia entre estos dos tipos de modelo se identificó el error cuadrático medio (RMS) de cada uno a través de la función `plotfit.fd()` de la librería `fda`, se puede observar en (Ilustración 4-1).

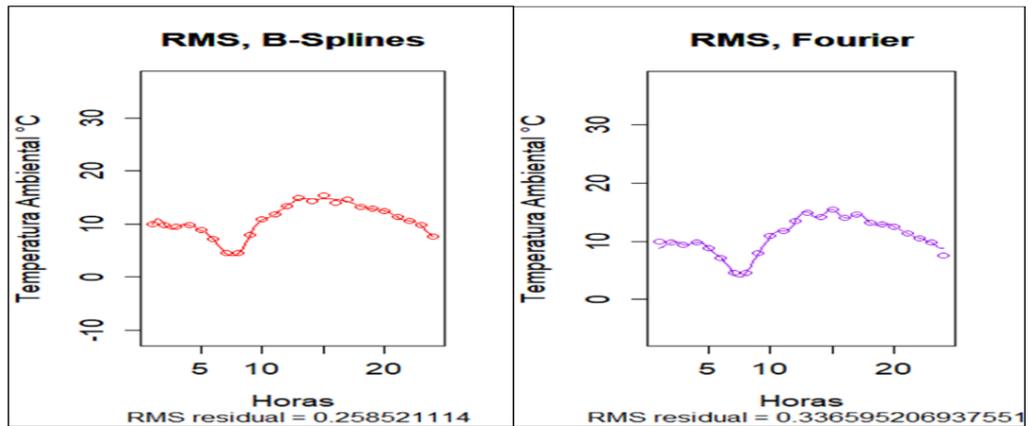


Ilustración 4-1: Comparación de los suavizados Fourier y B-splines a través del RMS.

Realizado por: Saguay B., 2023.

La ilustración 4-1 presenta el RMS suavizado a través de los métodos Fourier y B-spline, donde se observó un error menor para B- spline con un error cuadrático medio de 0.258 a comparación de Fourier, por lo que se eligió el método de suavizado B-spline con 22 bases funcionales.

4.1.3 Suavizado de curvas

Este gráfico representa la evolución de la temperatura ambiental durante el día, en general la temperatura alcanza alrededor de 30 °C, como mínimo el valor está cerca de -10 °C.

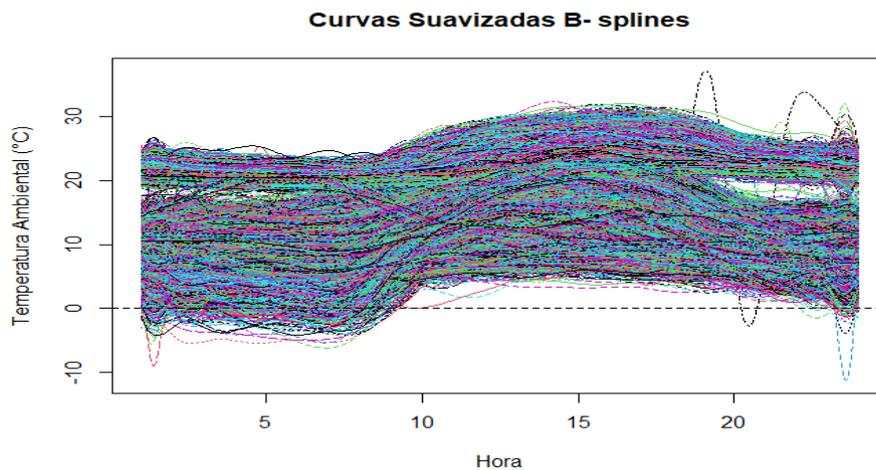


Ilustración 4-2: Curvas suavizadas con el método B-splines de ESTACIONES.

Realizado por: Saguay B., 2023.

4.1.4 Análisis e interpretación de resultados

Estaciones meteorológicas

4.1.4.1 Curvas atípicas estaciones meteorológicas

Utilizando la función *boxplot.fd()* se analizó las curvas atípicas de manera gráfica implementando el siguiente código en Rstudio para la base de datos correspondientes a todas las estaciones meteorológicas y para todos los años de estudio.

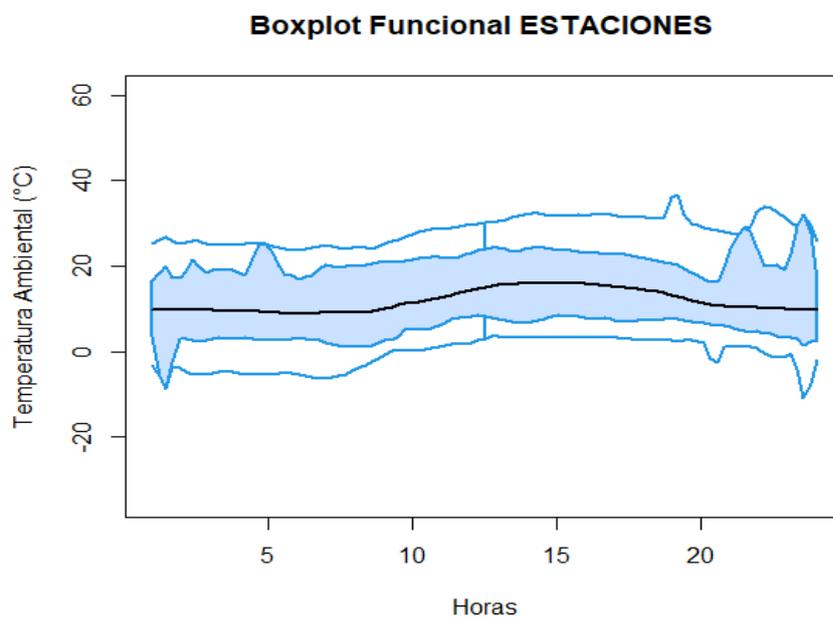


Ilustración 4-3: Curvas atípicas de la base ESTACIONES.

Realizado por: Saguay B., 2023.

Se pudo visualizar que no existe curvas atípicas en las 11 estaciones meteorológicas, este procedimiento se realizó con el fin de identificar comportamiento atípico y reducir el sesgo en los resultados.

4.1.4.2 Media y desviación estándar funcional estaciones meteorológicas

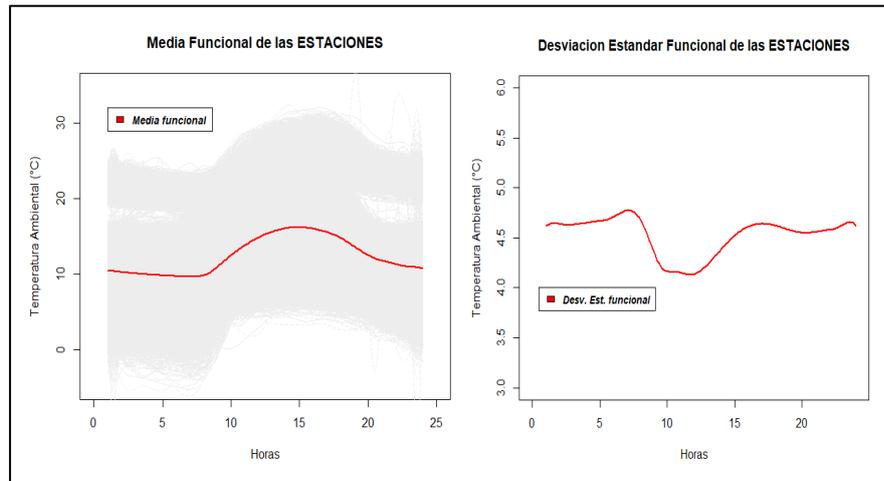


Ilustración 4-4: Media y desviación estándar funcional de ESTACIONES.

Realizado por: Saguay B., 2023.

En la ilustración 4-4 en la parte izquierda se puede visualizar la media funcional de la temperatura durante el día, en las primeras horas no existen temperaturas altas y que cerca del mediodía se observa una máxima de 16 °C y al culminar el día la misma disminuye, además que la desviación estándar funcional muestra poca variabilidad con respecto a su media funcional.

4.1.4.3 Covarianza funcional estaciones meteorológicas

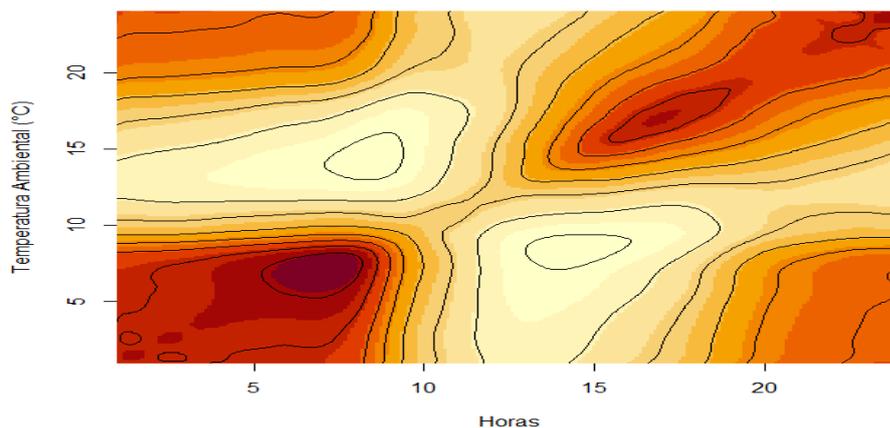


Ilustración 4-5: Covarianza funcional de ESTACIONES.

Realizado por: Saguay B., 2023.

Las curvas de nivel indican la variación de la temperatura según su coloración, en este caso se pudo observar que en las 10 primeras horas del día las temperaturas no sobrepasan los 10°C.

4.1.4.4 Análisis de clúster estaciones meteorológicas

A través del análisis de clúster, se pudo identificar 5 agrupaciones de las estaciones que presentan temperaturas similares. Estos resultados sirven de evidencia para notar diferentes temperaturas dentro de las estaciones estudiadas, en las que las estaciones que están dentro de un mismo clúster presentan temperaturas parecidas entre sí.

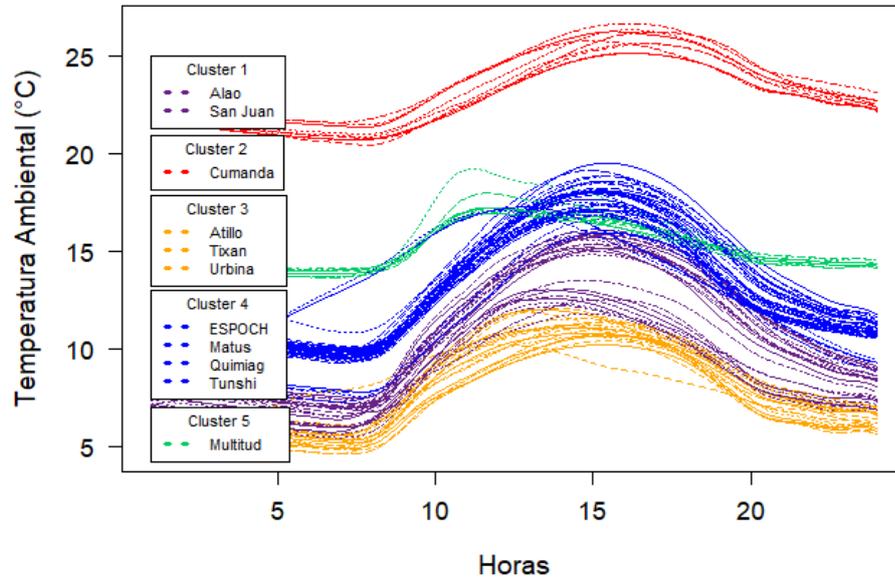


Ilustración 4-6: Clúster funcional de ESTACIONES.

Realizado por: Saguay B., 2023.

Se elaboró la siguiente tabla que presentan las estaciones agrupadas según sus condiciones térmicas:

Tabla 4-1: Clústeres de ESTACIONES.

CLÚSTERES	ESTACIONES
CLÚSTER 1	ALAO
CLÚSTER 1	SAN JUAN
CLÚSTER 2	CUMANDÁ
CLÚSTER 3	ATILLO
CLÚSTER 3	TIXÁN
CLÚSTER 3	URBINA
CLÚSTER 4	ESPOCH
CLÚSTER 4	MATUS
CLÚSTER 4	QUIMIAG
CLÚSTER 4	TUNSHI
CLÚSTER 5	MULTITUD

Fuente: Elaboración propia

Realizado por: Saguay B., 2023.

En esta instancia, se realiza un análisis descriptivo funcional para cada clúster identificado. Además, de un análisis de clúster mensual con el propósito de categorizar los meses que presentaban similitudes en términos de temperaturas. Posteriormente, se empleó el método de Bootstrap para identificar las distribuciones muestrales, así como para establecer las bandas de confianza de temperatura en cada agrupación de estaciones meteorológicas. Este procedimiento posibilitó la definición de umbrales horarios de temperatura en las diversas agrupaciones, cuya validez fue posteriormente corroborada mediante el análisis del gradiente vertical de temperatura.

Estaciones meteorológicas CLÚSTER 1

4.1.4.5 Media y desviación estándar funcional CLÚSTER 1

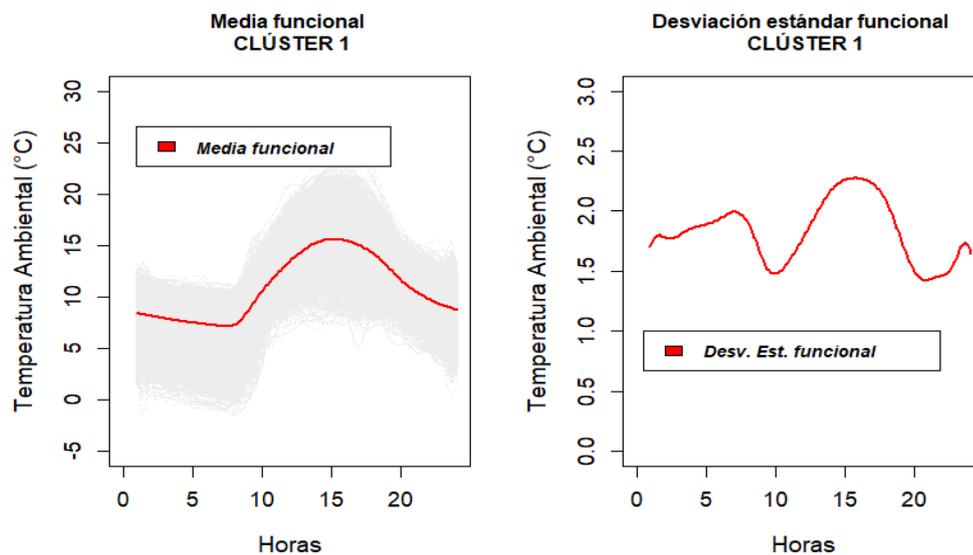


Ilustración 4-7: Media y desviación estándar funcional de CLÚSTER 1: Alao, San Juan.

Realizado por: Saguy B., 2023.

En la ilustración 4-7, se visualiza la curva media de la temperatura en CLÚSTER 1 durante el día. Observando que en las primeras horas presentan temperaturas bajas, que cerca del mediodía ascendía hasta 22°C y a medida de las horas disminuía gradualmente.

4.1.4.6 Covarianza funcional CLÚSTER 1

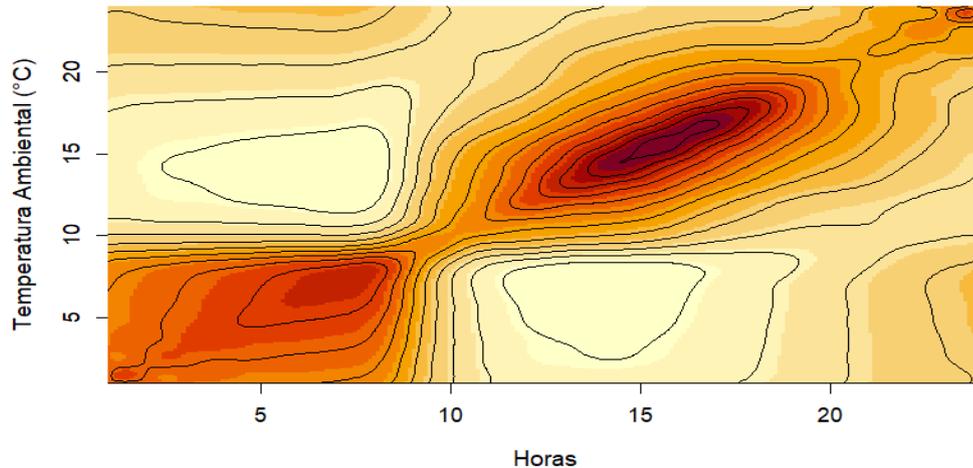


Ilustración 4-8: Covarianza funcional de CLÚSTER 1: Alao, San Juan.

Realizado por: Saguay B., 2023.

Las curvas de nivel proporcionan una representación visual de la variación de la temperatura. Durante las primeras horas del día, se observa que las temperaturas están por debajo de los 10°C. Una observación interesante es que la temperatura más frecuente es de 15°C, destacándose particularmente entre las 15:00 y las 17:00 horas. Esto sugiere una estabilidad relativa en la variable durante este período del día, con una tendencia a mantenerse en torno a ese valor específico.

4.1.4.7 Análisis de clúster CLÚSTER 1

Los autores (Fink et al. 2004) argumentan que los cambios en la relación entre la precipitación y la temperatura pueden tener un impacto más considerable que las alteraciones en cada una de estas variables de manera individual. Eventos recurrentes como las inundaciones y las sequías suelen presentarse, y se plantea un aumento en la intensidad de las lluvias como resultado al calentamiento global, que sin duda afectará a países latinoamericanos entre ellos Ecuador.

Según Ordoñez (2018), Ecuador, ubicado en la línea ecuatorial, experimenta dos estaciones principales: la lluviosa y la seca. En la costa, la temporada de lluvias va de diciembre a mayo, seguida por una temporada seca de junio a noviembre. En los Andes, llueve de octubre a mayo y la estación seca es de junio a septiembre.

Tabla 4-2: Agrupaciones mensuales de temperatura por época.

INTERANDINA		
LLUVIOSA		SECA
OCTUBRE	FEBRERO	JUNIO
NOVIEMBRE	MARZO	JULIO
DICIEMBRE	ABRIL	AGOSTO
ENERO	MAYO	SEPTIEMBRE

Fuente: Elaboración propia

Realizado por: Saguay B., 2023.

Se ha realizado una agrupación de los meses en dos clústeres, representando así la distinción entre la época seca y lluviosa en Ecuador. Esta clusterización permite visualizar de manera clara cómo los meses se distribuyen en función de estas dos temporadas climáticas.

Tabla 4-3: Clústeres mensuales

MES	% CLÚSTER 1	% CLÚSTER 2
ENERO	79,01	20,99
FEBRERO	89,96	10,04
MARZO	82,12	17,88
ABRIL	78,65	21,35
MAYO	79,20	20,80
JUNIO	43,61	56,39
JULIO	27,01	72,99
AGOSTO	29,01	70,99
SEPTIEMBRE	48,54	51,46
OCTUBRE	78,10	21,90
NOVIEMBRE	88,50	11,50
DICIEMBRE	88,58	11,42

Fuente: Elaboración propia

Realizado por: Saguay B., 2023.

Clúster funcional mensual: Alao - San Juan

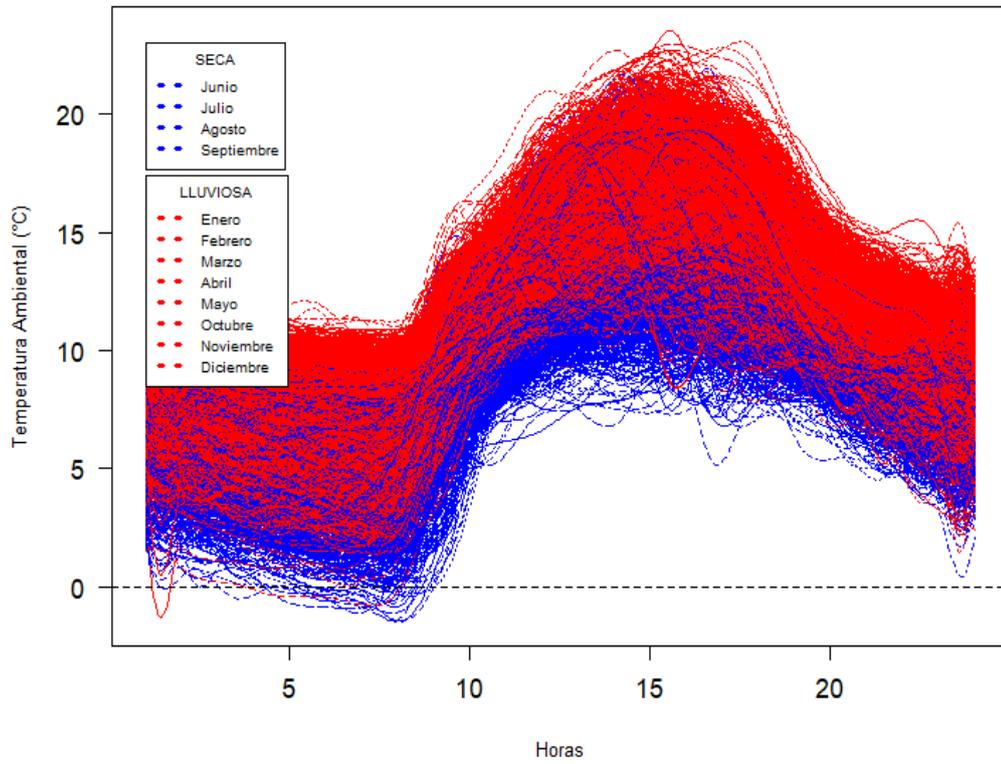


Ilustración 4-9: Análisis de clúster funcional de CLÚSTER 1: Alao, San Juan.

Realizado por: Saguay B., 2023.

Tras el análisis, se observó que los meses del año se agruparon en dos clústeres distintos, los cuales fueron denominados la época lluviosa y la época seca, respectivamente.

Tabla 4-4: Clústeres mensuales CLÚSTER 1.

LLUVIOSA		SECA
OCTUBRE	FEBRERO	JUNIO
NOVIEMBRE	MARZO	JULIO
DICIEMBRE	ABRIL	AGOSTO
ENERO	MAYO	SEPTIEMBRE

Fuente: Elaboración propia

Realizado por: Saguay Bryan, 2023.

4.1.4.8 Media y desviación estándar funcional CLÚSTER 1 época lluviosa y seca

Durante el análisis de las épocas seca y lluviosa, se constató que la época seca exhibía temperaturas más bajas en comparación con la época lluviosa. En la época seca se alcanza una temperatura máxima de 15°C, en la época lluviosa este valor ascendía ligeramente a 16°C.

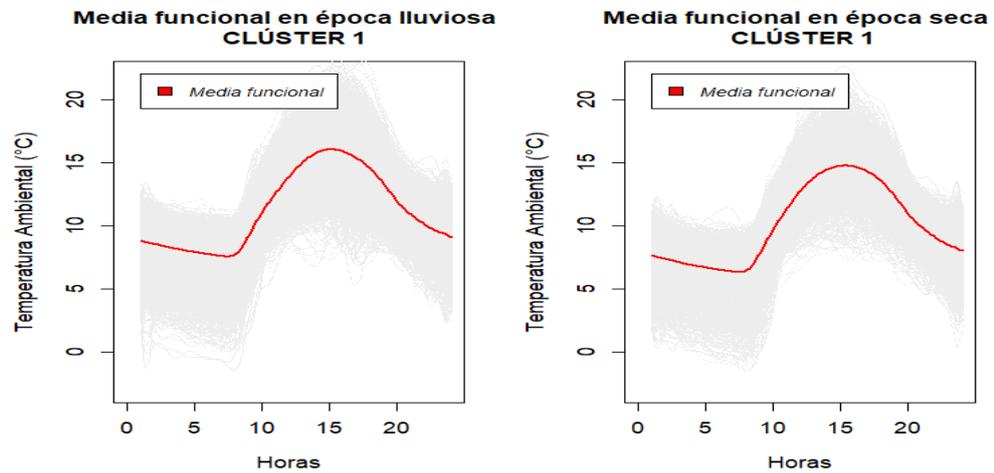


Ilustración 4-10: Media funcional de CLÚSTER 1 época lluviosa y seca.

Realizado por: Saguay B., 2023.

4.1.4.9 Covarianza funcional CLÚSTER 1 época lluviosa y seca

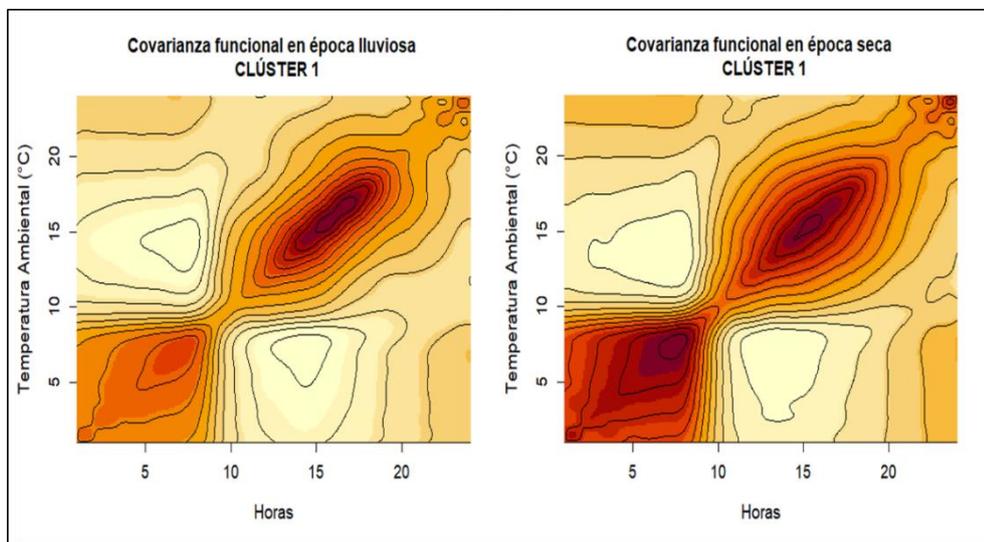


Ilustración 4-11: Covarianza funcional de CLÚSTER 1 época lluviosa y seca.

Realizado por: Saguay B., 2023.

Las curvas de nivel proporcionan una representación visual detallada de la variación de temperatura. Durante el análisis, se constató que en las primeras horas las temperaturas se

mantuvieron por debajo de los 10°C. Por otro lado, se observó que la temperatura más frecuente fue de 15°C, con picos de ocurrencia prominentes entre las 15:00 y las 17:00 horas.

4.1.4.10 Umbrales horarios de CLÚSTER 1 en época lluviosa y seca

Época lluviosa

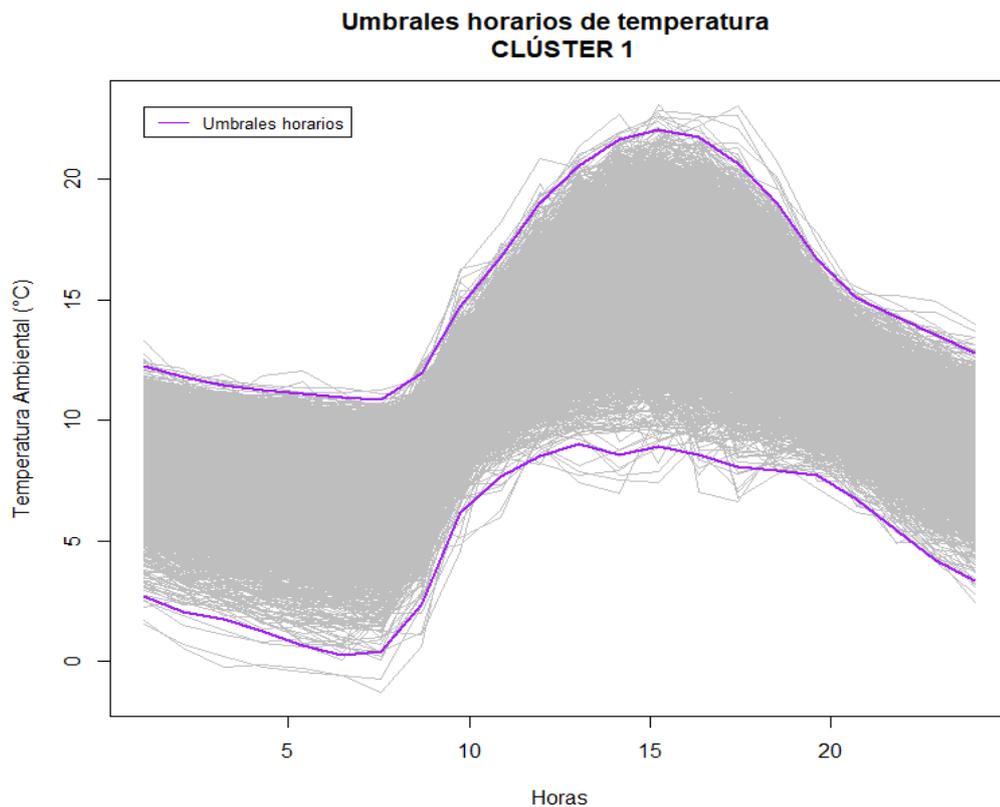


Ilustración 4-12: Umbrales horarios CLÚSTER 1 en época lluviosa.

Realizado por: Saguay B., 2023.

En la ilustración 4-12, se presentan bandas de confianza del 95% para evaluar las temperaturas, así como los umbrales horarios de temperatura derivados de estas bandas. En la parte inferior, se muestran los umbrales que alcanzan sus máximos alrededor de las 15:00 horas cerca de 22°C y 10°C, antes de disminuir a temperaturas cercanas a los 11°C y 1°C. Se presentan los umbrales horarios superiores e inferiores de temperatura, los cuales se muestran en la Tabla 4-5 y puede ayudar a constatar lo mencionado.

Tabla 4-5: Umbrales horarios CLÚSTER 1 época lluviosa

Hora	Umbrales horarios inferiores	Umbrales horarios superiores
1	2,54	12,16
2	1,95	11,76
3	1,67	11,43
4	1,26	11,21
5	0,70	11,09
6	0,26	10,97
7	0,09	10,78
8	0,75	10,98
9	3,39	12,62
10	6,60	15,15
11	7,65	17,00
12	8,43	19,01
13	8,90	20,44
14	8,45	21,45
15	8,73	21,93
16	8,64	21,82
17	8,11	21,07
18	7,83	19,82
19	7,76	17,92
20	7,30	15,93
21	6,26	14,76
22	5,09	14,06
23	3,97	13,37
24	3,19	12,74

Fuente: Elaboración propia

Realizado por: Saguay Bryan, 2023.

Época seca

En la Ilustración 4-13, se exhiben bandas de confianza con un nivel del 95% para analizar tanto las temperaturas superiores como las inferiores, junto con los umbrales horarios de temperatura derivados de estas bandas. En la sección inferior de la figura, se ilustra la variación de los umbrales de temperatura a lo largo del día. Ambos umbrales alcanzan su punto máximo alrededor de las 15:00 horas, aproximadamente a 21°C y 8°C respectivamente, antes de descender a temperaturas cercanas a los 10°C y -1°C.

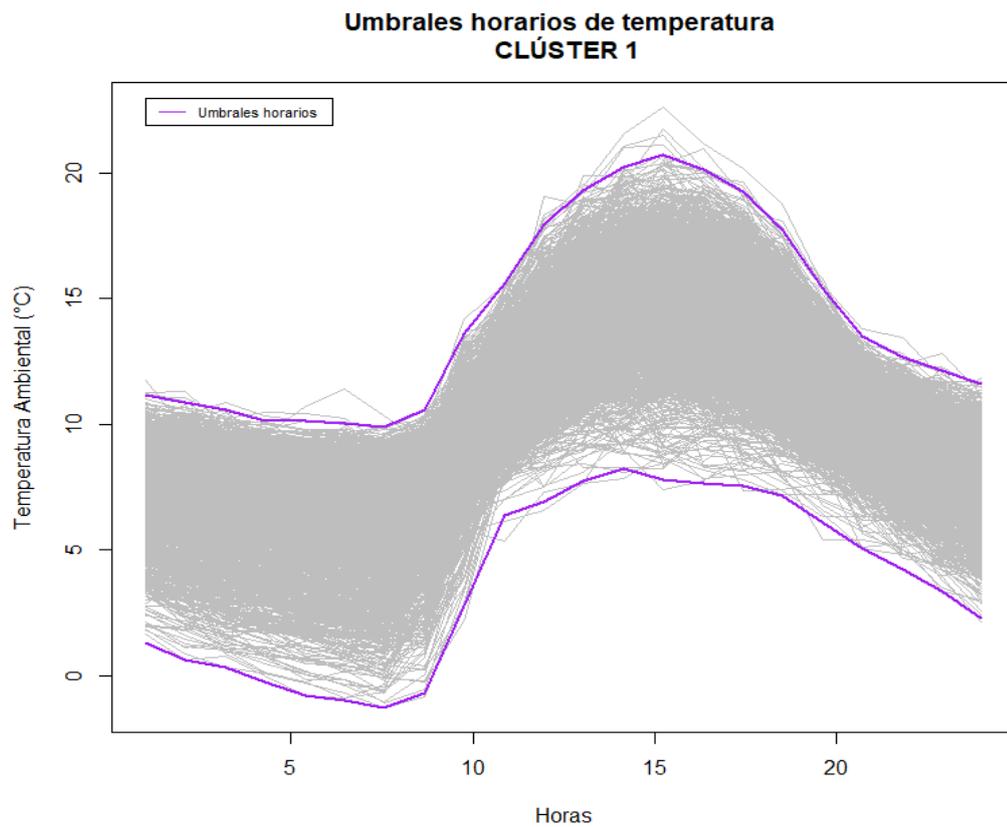


Ilustración 4-13: Umbrales horarios CLÚSTER 1 en época seca.

Realizado por: Saguay B., 2023.

Se presentan los umbrales horarios superiores e inferiores de temperatura, los cuales se muestran en la Tabla 4-6.

Tabla 4-6: Umbrales horarios CLÚSTER 1 época seca.

Hora	Umbrales horarios inferiores	Umbrales horarios superiores
1	1,37	11,11
2	0,69	10,84
3	0,45	10,60
4	-0,04	10,20
5	-0,60	10,09
6	-0,87	10,05
7	-1,08	9,92
8	-1,25	9,88
9	0,16	11,32
10	3,78	14,08
11	6,66	15,83
12	7,00	17,97
13	7,78	19,25
14	8,29	20,09
15	7,97	20,66
16	7,71	20,37
17	7,64	19,62
18	7,48	18,57
19	6,80	16,76
20	5,75	14,61
21	4,90	13,17
22	4,12	12,53
23	3,33	12,06
24	2,31	11,56

Fuente: Elaboración propia

Realizado por: Saguay Bryan, 2023.

4.1.4.11 Validación de los umbrales horarios en las CLÚSTER 1 a través de gradiente vertical de temperatura

Tabla 4-7: Agrupaciones por ESTACIONES

ESTACIONES	ALTURA	TEMPERATURA
CUMANDÁ	331	24,60
MULTITUD	1483	16,13
ESPOCH - MATUS - QUIMIAG - TUNSHI	2695,75	14,20
ALAO - SAN JUAN	3154	11,30
ATILLO - TIXAN – URBINA	4553	9,70

Fuente: Elaboración propia

Realizado por: Saguay Bryan, 2023.

En la Ilustración 4-14 se evidencia una relación inversa entre la temperatura ambiental y la distancia. A medida que la distancia aumenta, la temperatura ambiental tiende a disminuir de manera consistente.

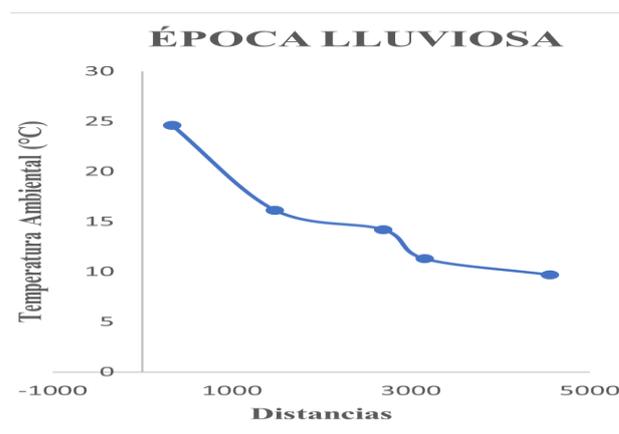


Ilustración 4-14: Gradiente vertical de temperatura escalar.

Realizado por: Saguay B., 2023.

Desde una perspectiva termodinámica, se puede notar que la temperatura cambia a medida que aumenta la altura, lo que se conoce como gradiente térmico. Se observa una reducción de datos durante las horas de la noche debido a la inversión por radiación. Esta inversión ocurre como consecuencia de la disparidad de temperaturas entre el día y la noche en la superficie terrestre.

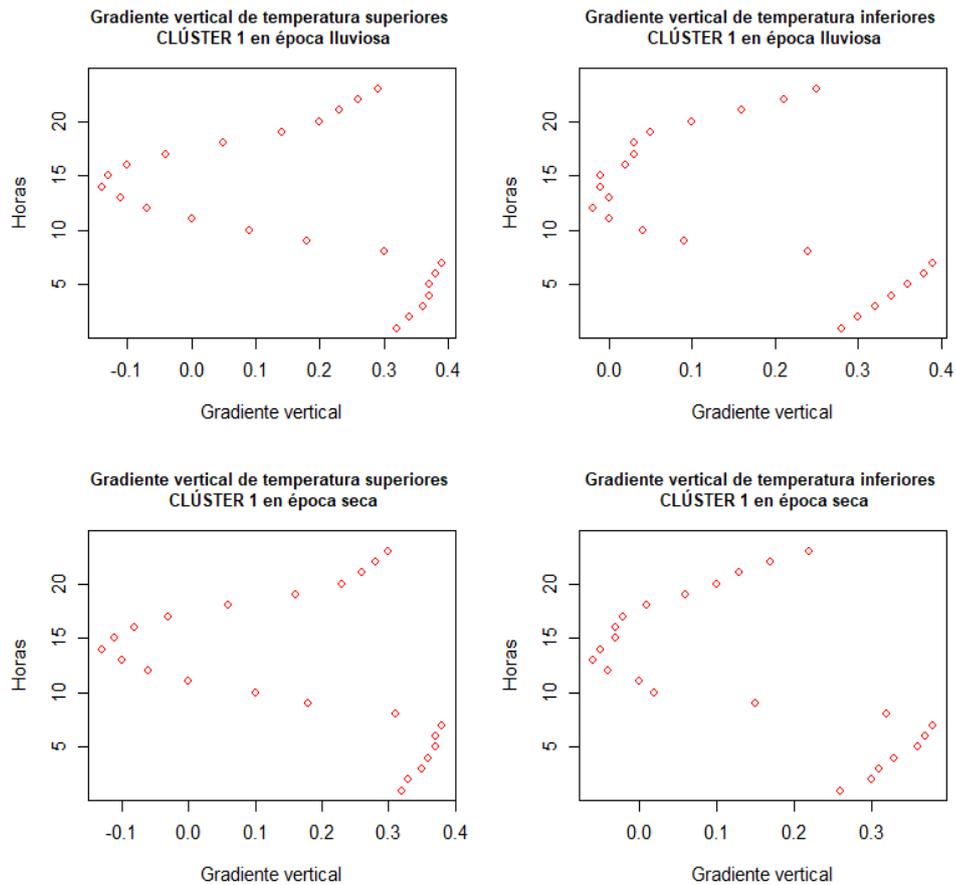


Ilustración 4-15: Gradiente vertical de temperatura superior e inferior CLÚSTER 1 época lluviosa y seca.

Realizado por: Saguay B., 2023.

Desde una perspectiva termodinámica, se puede notar que la temperatura cambia a medida que aumenta la altura, lo que se conoce como gradiente térmico. Se observa una reducción de datos durante las horas de la noche debido a la inversión por radiación. Esta inversión ocurre como consecuencia de la disparidad de temperaturas entre el día y la noche en la superficie terrestre.

Tabla 4-8: Gradientes verticales de temperatura para los umbrales horarios de la época lluviosa y seca.

Hora	Época lluviosa		Época seca	
	Inferior	Superior	Inferior	Superior
1	0,28	0,32	0,26	0,32
2	0,30	0,34	0,30	0,33
3	0,32	0,36	0,31	0,35
4	0,34	0,37	0,33	0,36
5	0,36	0,37	0,36	0,37
6	0,38	0,38	0,37	0,37
7	0,39	0,39	0,38	0,38
8	0,24	0,30	0,32	0,31
9	0,09	0,18	0,15	0,18
10	0,04	0,09	0,02	0,10
11	0	0	0	0
12	-0,02	-0,07	-0,04	-0,06
13	0,00	-0,11	-0,06	-0,10
14	-0,01	-0,14	-0,05	-0,13
15	-0,01	-0,13	-0,03	-0,11
16	0,02	-0,10	-0,03	-0,08
17	0,03	-0,04	-0,02	-0,03
18	0,03	0,05	0,01	0,06
19	0,05	0,14	0,06	0,16
20	0,10	0,20	0,10	0,23
21	0,16	0,23	0,13	0,26
22	0,21	0,26	0,17	0,28
23	0,25	0,29	0,22	0,30

Fuente: Elaboración propia

Realizado por: Saguay Bryan, 2023.

Estaciones meteorológicas CLÚSTER 2

4.1.4.12 Media y desviación estándar funcional CLÚSTER 2

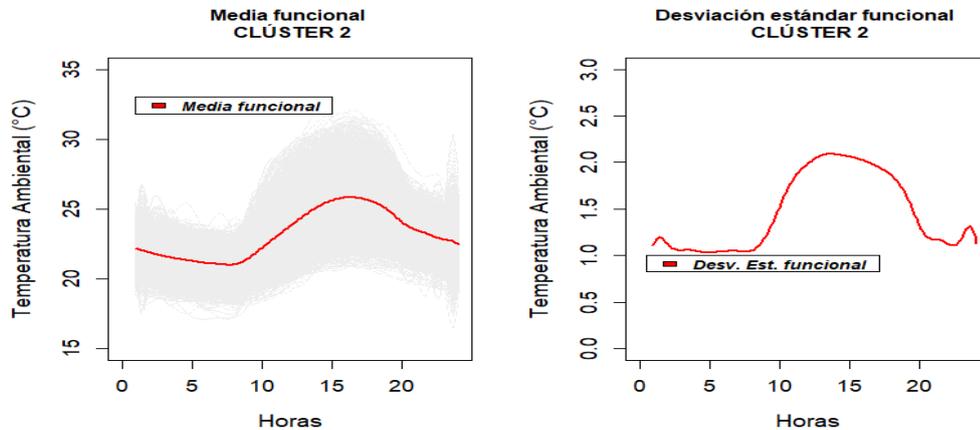


Ilustración 4-16: Media y desviación estándar funcional de CLÚSTER 2: Cumandá.

Realizado por: Saguay B., 2023.

En la ilustración 4-16, pudo observarse que cerca del mediodía alcanza una temperatura de 25°C que experimenta una disminución gradual. Además, se puede señalar que muestra variabilidad reducida en relación con su media funcional.

4.1.4.13 Covarianza funcional CLÚSTER 2

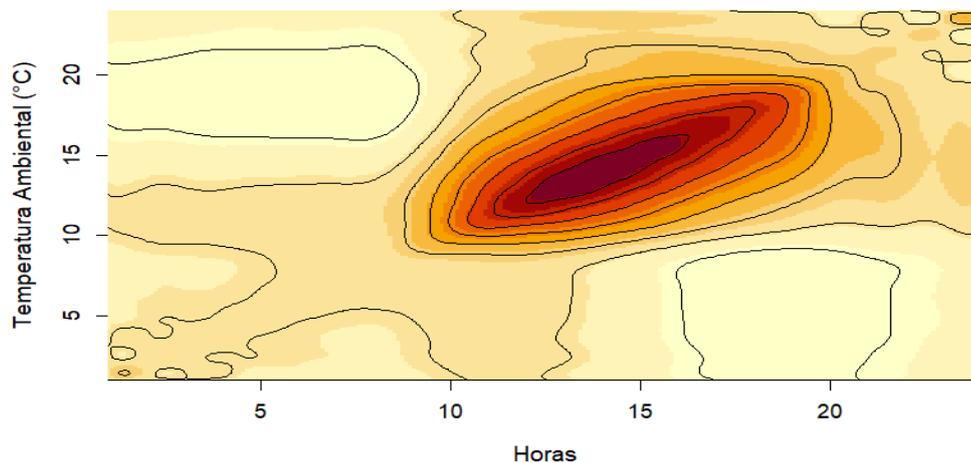


Ilustración 4-17: Covarianza funcional de CLÚSTER 2: Cumandá.

Realizado por: Saguay B., 2023.

En la ilustración 4-17, se presentan temperaturas que varían entre 10°C y 20 °c, siendo 15°C la temperatura que se presenta con mayor fuerza dentro de la zona de estudio.

4.1.4.14 Análisis de clúster CLÚSTER 2

En la costa, la temporada de lluvias va de diciembre a mayo, seguida por una temporada seca de junio a noviembre. En la Tabla 4-9 se pudo resumir de mejor manera el análisis de clústeres mensuales, presentando los siguientes resultados:

Tabla 4-9: Agrupaciones mensuales de temperatura por época.

LITORAL			
LLUVIOSA		SECA	
DICIEMBRE	MARZO	JUNIO	SEPTIEMBRE
ENERO	ABRIL	JULIO	OCTUBRE
FEBRERO	MAYO	AGOSTO	NOVIEMBRE

Fuente: Elaboración propia

Realizado por: Saguay B., 2023.

En la tabla 4-10 se resume el análisis de clústeres mensuales, con el siguiente detalle:

Tabla 4-10: Clústeres mensuales

MES	% CLÚSTER 1	% CLÚSTER 2
ENERO	59,12	40,88
FEBRERO	70,44	29,56
MARZO	77,01	22,99
ABRIL	78,47	21,53
MAYO	60,22	39,78
JUNIO	35,77	64,23
JULIO	19,34	80,66
AGOSTO	20,07	79,93
SEPTIEMBRE	27,01	72,99
OCTUBRE	28,47	71,53
NOVIEMBRE	30,66	69,34
DICIEMBRE	51,09	48,91

Fuente: Elaboración propia

Realizado por: Saguay B., 2023.

Se ha elaborado una agrupación de los meses que presentan temperaturas similares entre sí, donde se obtuvo dos clústeres, representando así la distinción entre la época seca y lluviosa en Ecuador.

Clúster funcional mensual: Cumandá

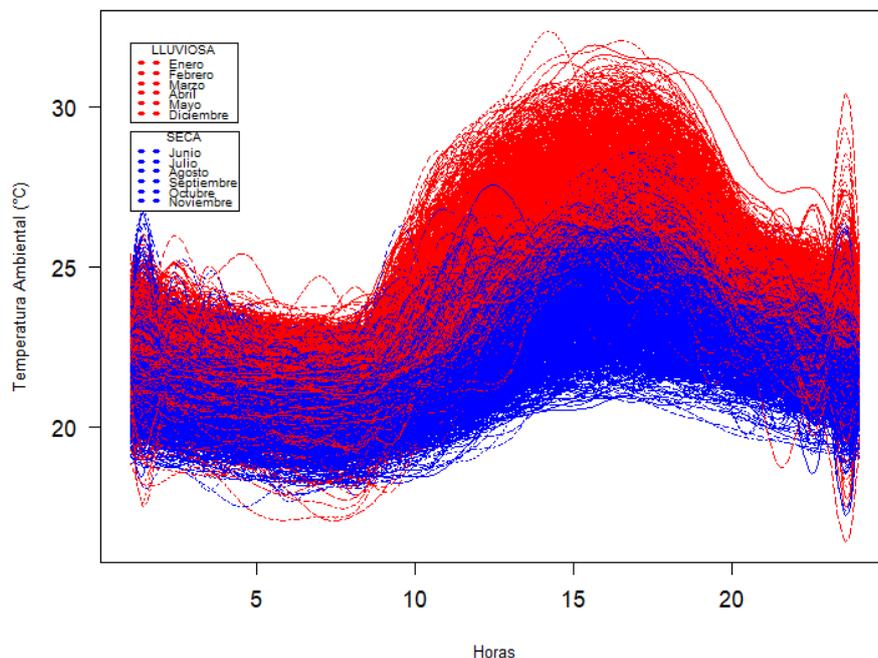


Ilustración 4-18: Análisis de Clúster funcional mensual de CLÚSTER 2.

Realizado por: Saguay B., 2023.

Al realizar el análisis, se observó que los meses del año se agruparon en dos clústeres distintos, los cuales fueron denominados la época lluviosa y la época seca, respectivamente.

Tabla 4-11: Clústeres mensuales CLÚSTER 2.

LLUVIOSA		SECA	
DICIEMBRE	MARZO	JUNIO	SEPTIEMBRE
ENERO	ABRIL	JULIO	OCTUBRE
FEBRERO	MAYO	AGOSTO	NOVIEMBRE

Fuente: Elaboración propia

Realizado por: Saguay Bryan, 2023.

4.1.4.15 Media y desviación estándar funcional CLÚSTER 2 época lluviosa y seca

Mediante el análisis de las estaciones en las épocas lluviosa y seca en la provincia de Chimborazo, se observó una diferencia entre sus temperaturas medias. Se logró observar que en la época seca presenta temperaturas más frescas teniendo hasta un promedio máximo de 25°C y en la época lluviosa de 26°C.

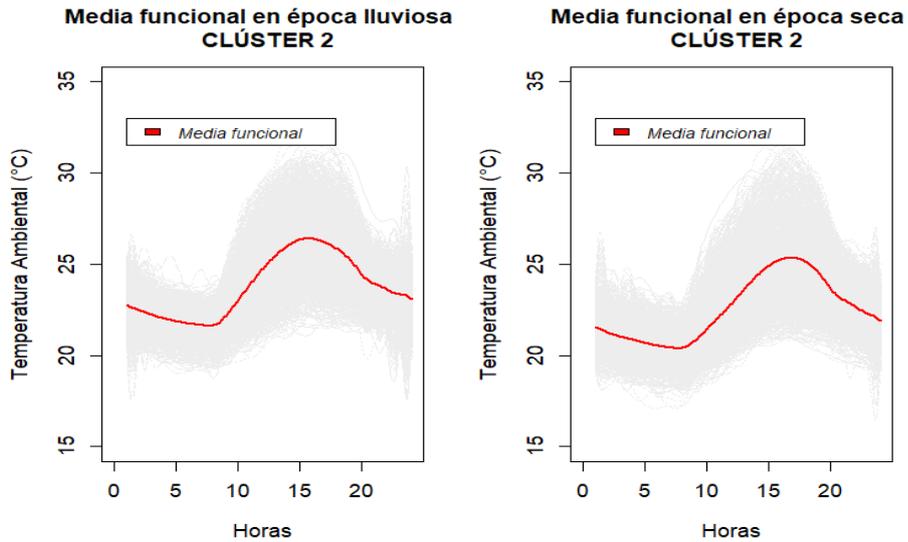


Ilustración 4-19: Media funcional de CLÚSTER 2 época lluviosa y seca.

Realizado por: Saguay B., 2023.

4.1.4.16 Covarianza funcional CLÚSTER 2 época lluviosa y seca

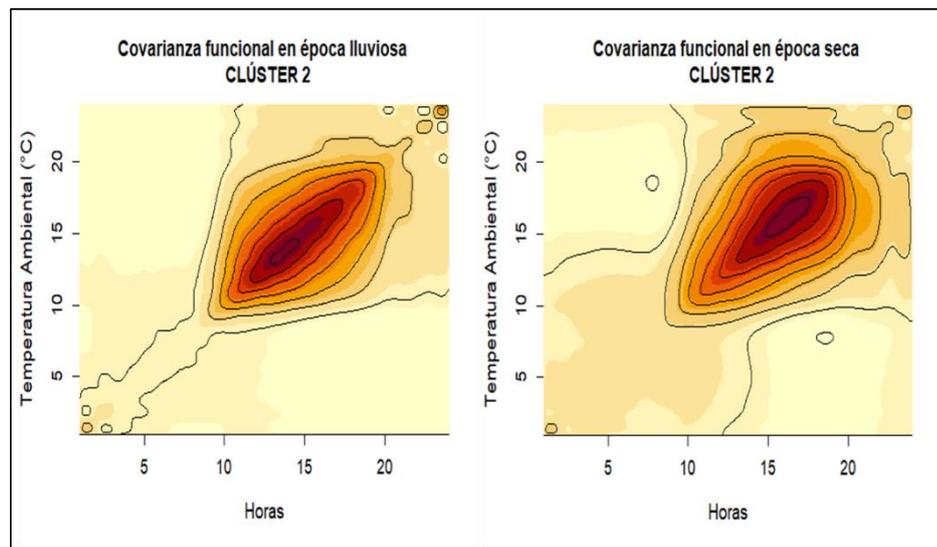


Ilustración 4-20: Covarianza funcional de CLÚSTER 2 época lluviosa y seca.

Realizado por: Saguay B., 2023.

Se

encontró que, en las primeras diez horas del día, las temperaturas se mantenían consistentemente por debajo de los 10°C, mientras que entre las 13:00 y las 15:00 horas se registraba una alta frecuencia de 15°C. Además, se identificó que los valores más comunes fueron de 16°C, con picos notables entre las 15:00 y las 17:00 horas.

4.1.4.17 Umbrales horarios de CLÚSTER 2 en época lluviosa y seca
Época lluviosa

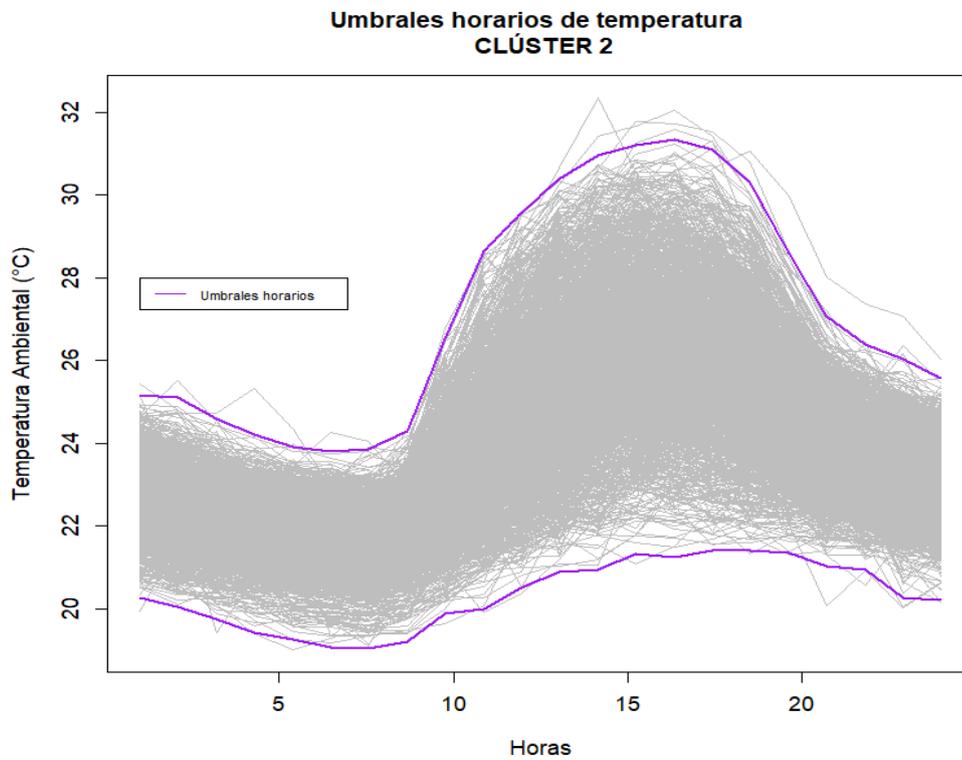


Ilustración 4-21: Umbrales horarios CLÚSTER 2 en época lluviosa.

Realizado por: Saguay B., 2023.

En la Ilustración 4-21 se muestran bandas de confianza del 95% para evaluar temperaturas superiores e inferiores, junto con umbrales horarios de temperatura derivados. Los umbrales alcanzan su punto máximo alrededor de las 15:00 horas, con aproximadamente 31°C para el superior y 22°C para el inferior, antes de descender a alrededor de 24°C y 19°C, respectivamente.

Se presentan los umbrales horarios superiores e inferiores de temperatura, los cuales se muestran en la Tabla 4-12 y puede ayudar a constatar lo mencionado.

Tabla 4-12: Umbrales horarios CLÚSTER 2 época lluviosa

Hora	Umbrales horarios inferiores	Umbrales horarios superiores
1	20,30	25,13
2	20,10	25,11
3	19,84	24,65
4	19,54	24,25
5	19,35	23,97
6	19,17	23,78
7	19,09	23,78
8	19,09	23,85
9	19,45	24,78
10	19,99	27,02
11	20,07	28,80
12	20,58	29,57
13	20,93	30,31
14	20,94	30,89
15	21,29	31,13
16	21,30	31,29
17	21,37	31,20
18	21,46	30,75
19	21,44	29,60
20	21,28	27,95
21	21,05	26,77
22	20,90	26,29
23	20,25	25,97
24	20,24	25,54

Fuente: Elaboración propia

Realizado por: Saguay Bryan, 2023.

Época seca

Se presentan los umbrales horarios superiores e inferiores de temperatura, los cuales se muestran en la Tabla 4-6.

Tabla 4-13: Umbrales horarios CLÚSTER 2 época seca.

Hora	Umbrales horarios inferiores	Umbrales horarios superiores
1	18,71	24,55
2	18,43	24,16
3	18,19	23,95
4	18,06	23,85
5	17,89	23,36
6	17,63	23,30
7	17,36	23,14
8	17,50	23,20
9	17,98	24,33
10	18,29	25,82
11	18,65	27,30
12	19,27	28,02
13	19,80	29,19
14	20,16	29,87
15	20,31	30,62
16	20,52	31,11
17	20,56	31,02
18	20,41	30,55
19	20,27	29,39
20	20,02	27,62
21	19,55	26,32
22	19,20	25,78
23	19,11	25,24
24	18,85	24,73

Fuente: Elaboración propia

Realizado por: Saguay Bryan, 2023.

En la Ilustración 4-22, se exhiben bandas de confianza con un nivel del 95% para analizar tanto las temperaturas superiores como las inferiores, junto con los umbrales horarios de temperatura derivados de estas bandas. En la sección inferior de la ilustración, se ilustra la variación de los umbrales de temperatura a lo largo del día. Ambos umbrales alcanzan su punto máximo alrededor de las 16:00 horas, aproximadamente a 31°C y 21°C respectivamente, antes de descender a temperaturas cercanas a los 23°C y 18°C.

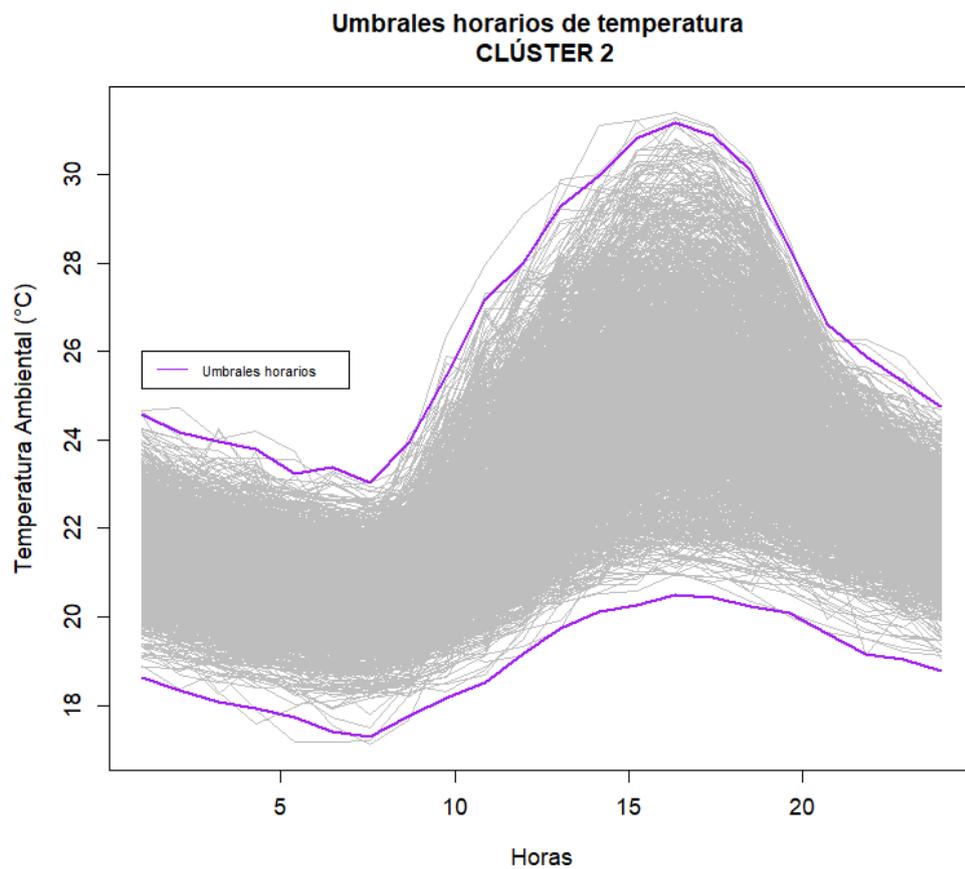


Ilustración 4-22: Umbrales horarios CLÚSTER 2 en época seca.

Realizado por: Saguay B., 2023.

4.1.4.18 Validación de los umbrales horarios en las CLÚSTER 2 a través de gradiente vertical de temperatura

En la Tabla 4-14 se presentan los gradientes de temperatura en las 2 épocas, de la siguiente manera:

Tabla 4-14: Gradientes verticales de temperatura para los umbrales horarios de la época lluviosa y seca.

Hora	Época lluviosa		Época seca	
	Inferior	Superior	Inferior	Superior
1	-0,12	-0,15	-0,10	-0,15
2	-0,06	-0,09	-0,04	-0,07
3	-0,02	-0,04	-0,02	-0,06
4	0	0	0	0
5	0,02	0,02	0,03	0,01
6	0,03	0,02	0,07	0,03
7	0,03	0,01	0,05	0,02
8	-0,01	-0,10	-0,01	-0,12
9	-0,08	-0,38	-0,05	-0,31
10	-0,09	-0,60	-0,10	-0,49
11	-0,15	-0,70	-0,17	-0,58
12	-0,20	-0,79	-0,24	-0,73
13	-0,20	-0,87	-0,28	-0,81
14	-0,24	-0,90	-0,30	-0,91
15	-0,24	-0,91	-0,33	-0,97
16	-0,25	-0,90	-0,33	-0,96
17	-0,26	-0,85	-0,31	-0,90
18	-0,26	-0,70	-0,30	-0,75
19	-0,24	-0,50	-0,27	-0,53
20	-0,21	-0,35	-0,21	-0,37
21	-0,19	-0,29	-0,16	-0,30
22	-0,11	-0,25	-0,15	-0,23
23	-0,11	-0,20	-0,12	-0,17

Fuente: Elaboración propia

Realizado por: Saguay Bryan, 2023.

En la Ilustración 4-23 se evidencia una relación inversa entre la temperatura ambiental y la distancia. A medida que la distancia aumenta, la temperatura ambiental tiende a disminuir de manera consistente.

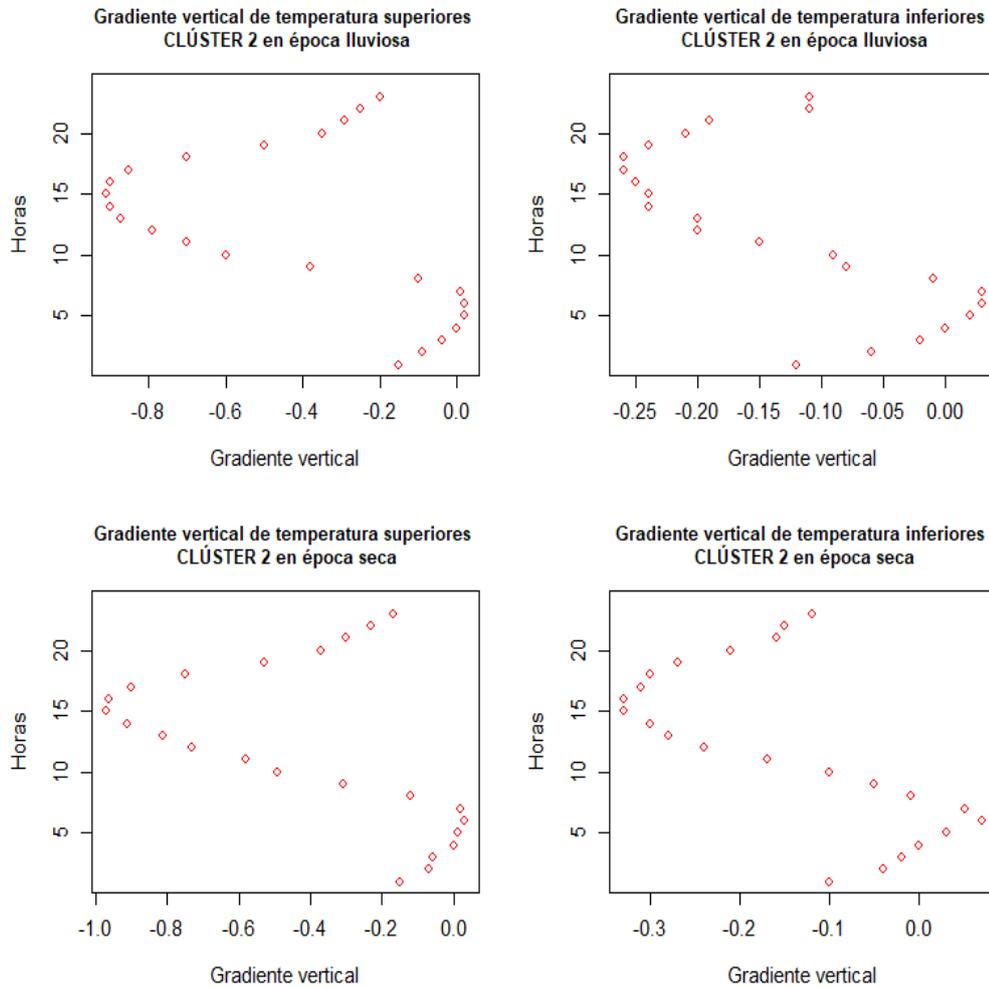


Ilustración 4-23: Gradiente vertical de temperatura superior e inferior CLÚSTER 2 época lluviosa y seca.

Realizado por: Saguay B., 2023.

Estaciones meteorológicas CLÚSTER 3

4.1.4.19 Media y desviación estándar funcional CLÚSTER 3

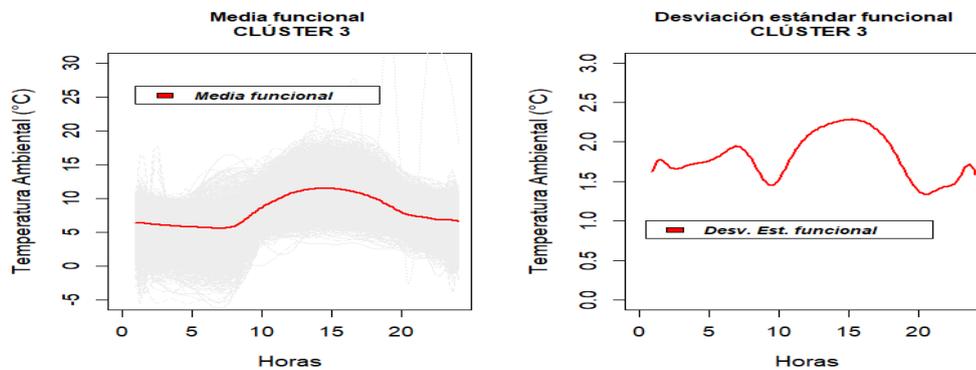


Ilustración 4-24: Media y desviación estándar funcional Clúster 3: Atillo, Tixán, Urbina.

Realizado por: Saguay B., 2023.

Hacia el mediodía alcanza su punto máximo, con una temperatura promedio de 11 °C. A medida que avanza el día esta disminuye gradualmente. Es interesante destacar que la desviación estándar funcional en este sector muestra una variabilidad reducida con respecto a su media funcional. La curva de desviación estándar se asemeja a una distribución en forma de campana, lo que sugiere una consistencia en la variabilidad de la temperatura a lo largo del día.

4.1.4.20 Covarianza funcional CLÚSTER 3

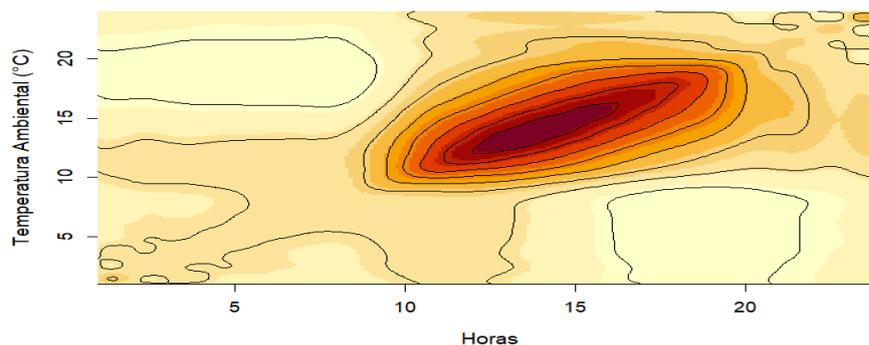


Ilustración 4-25: Covarianza funcional de CLÚSTER 3: Atillo, Tixán, Urbina.

Realizado por: Saguay B., 2023.

Se observó que posterior a las 10 horas del día las temperaturas se mantienen por encima de los 10°C mostrando una tendencia hacia valores más altos dentro de estas horas. La temperatura más frecuente registrada es de 15°C, destacándose particularmente entre las 13:00 y las 16:00 horas.

4.1.4.21 Análisis de clúster CLÚSTER 3

Se ha elaborado una agrupación de los meses que presentan temperaturas similares entre sí, donde se obtuvo dos clústeres, representando así la distinción entre la época seca y lluviosa en Ecuador.

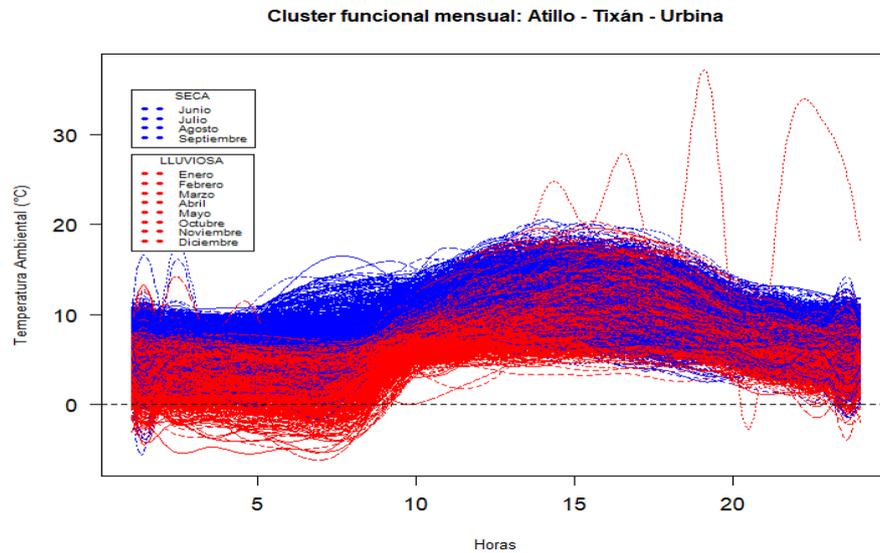


Ilustración 4-26: Análisis de Clúster funcional mensual de CLÚSTER 3.

Realizado por: Saguay B., 2023.

En la tabla 4-15 se resume el análisis de clústeres mensuales, con el siguiente detalle:

Tabla 4-15: Clústeres mensuales

MES	% CLÚSTER 1	% CLÚSTER 2
ENERO	42,70	57,30
FEBRERO	31,27	68,73
MARZO	27,49	72,51
ABRIL	30,17	69,83
MAYO	32,48	67,52
JUNIO	54,14	45,86
JULIO	68,73	31,27
AGOSTO	66,42	33,58
SEPTIEMBRE	57,30	42,70
OCTUBRE	38,20	61,80
NOVIEMBRE	30,66	69,34
DICIEMBRE	37,71	62,29

Fuente: Elaboración propia

Realizado por: Saguay B., 2023.

4.1.4.22 Media y desviación estándar funcional CLÚSTER 3 época lluviosa y seca

Mediante el análisis de las estaciones en las épocas lluviosa y seca en la provincia de Chimborazo, se observó una diferencia entre sus temperaturas medias. En la época seca presenta temperaturas más frescas teniendo hasta un máximo de 10°C y en la época lluviosa de 11°C.

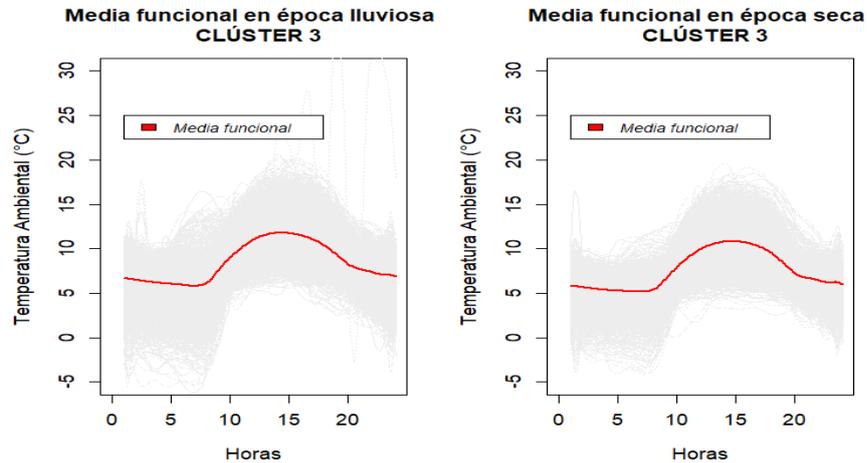


Ilustración 4-27: Media funcional de CLÚSTER 3 época lluviosa y seca.

Realizado por: Saguay B., 2023.

4.1.4.23 Covarianza funcional CLÚSTER 3 época lluviosa y seca

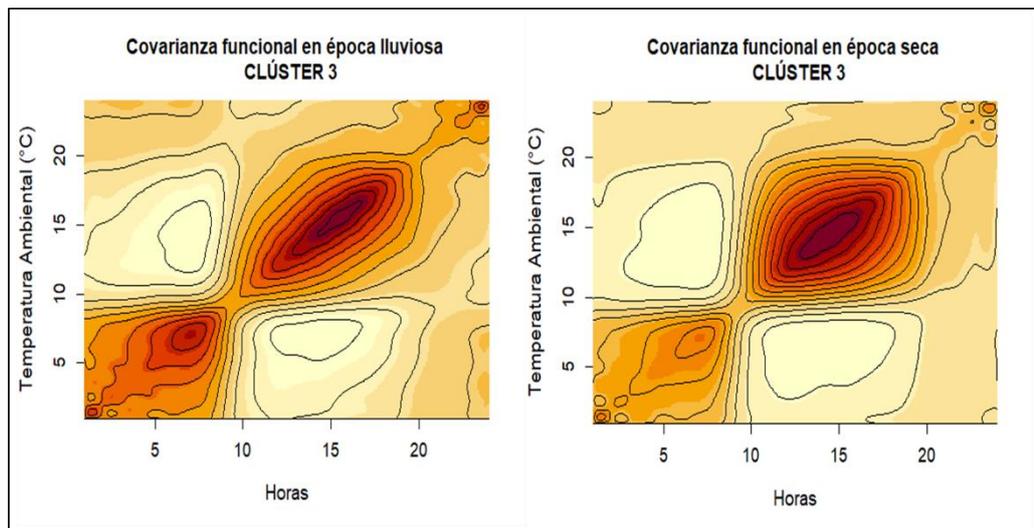


Ilustración 4-28: Covarianza funcional de CLÚSTER 3 época lluviosa y seca.

Realizado por: Saguay B., 2023.

Se encontró que en las primeras diez horas del día las temperaturas se mantenían por debajo de los 10°C, mientras que entre las 10:00 y las 20:00 horas se registran temperaturas entre 10°C a 20 °C.

4.1.4.24 Umbrales horarios de CLÚSTER 3 en época lluviosa y seca

Época lluviosa

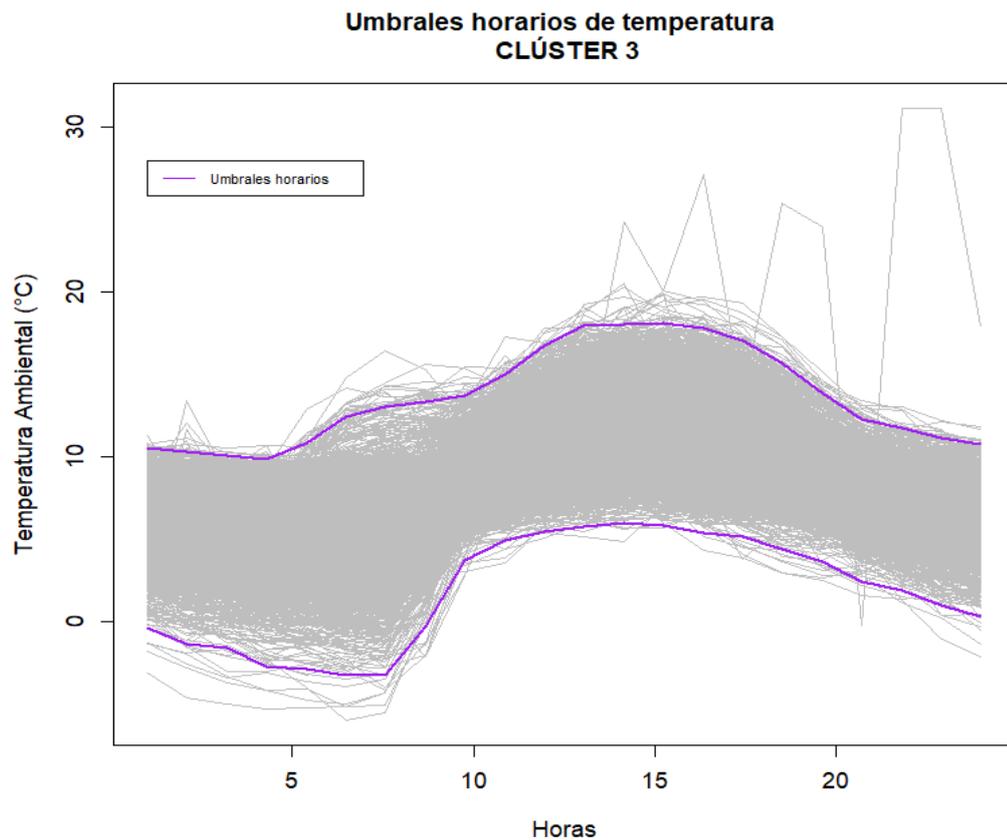


Ilustración 4-29: Umbrales horarios CLÚSTER 3 en época lluviosa.

Realizado por: Saguay B., 2023.

En la Ilustración 4-29, se muestran bandas de confianza del 95% para evaluar temperaturas. Los umbrales alcanzan su punto máximo alrededor de las 15:00 horas, con aproximadamente 18°C para el superior y 6°C para el inferior, antes de descender a alrededor de 10°C y -4°C.

Se presentan los umbrales horarios superiores e inferiores de temperatura, los cuales se muestran en la Tabla 4-16 y puede ayudar a constatar lo mencionado.

Tabla 4-16: Umbrales horarios CLÚSTER 3 época lluviosa

Hora	Umbrales horarios inferiores	Umbrales horarios superiores
1	-0,49	10,57
2	-1,47	10,44
3	-1,60	10,19
4	-2,55	9,91
5	-2,98	10,43
6	-3,14	11,84
7	-3,58	12,90
8	-2,52	13,27
9	0,95	13,49
10	4,11	13,98
11	4,90	15,26
12	5,38	16,87
13	5,64	17,98
14	5,85	18,08
15	5,78	18,19
16	5,40	18,03
17	5,20	17,49
18	4,69	16,48
19	3,99	14,99
20	3,12	13,31
21	2,16	12,15
22	1,68	11,70
23	0,78	11,17
24	0,24	10,82

Fuente: Elaboración propia

Realizado por: Saguay Bryan, 2023.

Época seca

Se presentan los umbrales horarios superiores e inferiores de temperatura, los cuales se muestran en la Tabla 4-17.

Tabla 4-17: Umbrales horarios CLÚSTER 3 época seca.

Hora	Umbrales horarios inferiores	Umbrales horarios superiores
1	-0,77	9,47
2	-1,46	9,24
3	-1,97	9,05
4	-2,48	8,90
5	-2,72	9,11
6	-2,92	9,62
7	-3,45	10,29
8	-2,79	10,61
9	0,21	10,89
10	3,04	12,29
11	3,56	14,35
12	3,78	16,07
13	3,86	16,96
14	4,07	17,45
15	4,17	17,58
16	4,04	17,17
17	3,95	16,59
18	3,67	15,57
19	3,32	14,10
20	2,72	12,57
21	1,91	11,38
22	1,38	10,61
23	0,55	9,82
24	0,01	9,65

Fuente: Elaboración propia

Realizado por: Saguay Bryan, 2023.

En la Ilustración 4-30, se exhiben bandas de confianza con un nivel del 95% para analizar tanto las temperaturas superiores como las inferiores, junto con los umbrales horarios de temperatura derivados de estas bandas. Ambos umbrales alcanzan su punto máximo alrededor de las 15:00 horas, aproximadamente a 18°C y 4°C respectivamente, antes de descender a 9°C y -3°C.

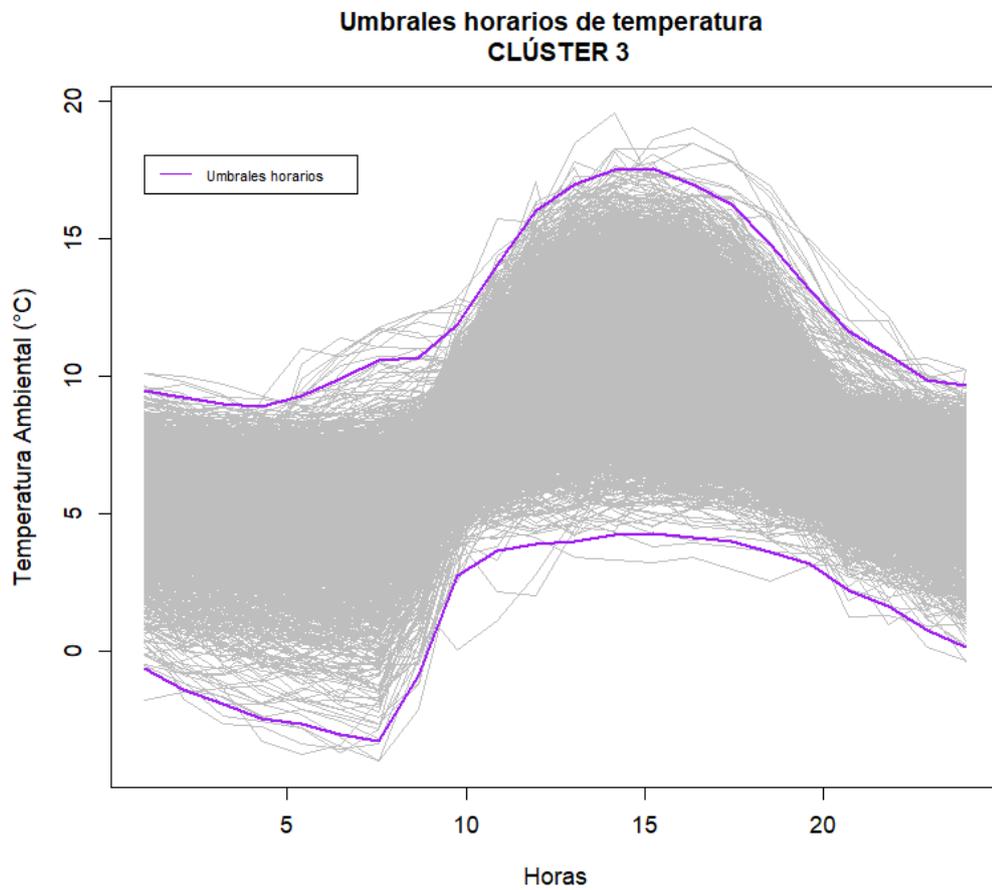


Ilustración 4-30: Umrales horarios CLÚSTER 3 en época seca.

Realizado por: Saguay B., 2023.

4.1.4.25 Validación de los umbrales horarios en las CLÚSTER 3 a través de gradiente vertical de temperatura

En la Tabla 4-18 se presentan los gradientes de temperatura en las 2 épocas, de la siguiente manera:

Tabla 4-18: Gradientes verticales de temperatura para los umbrales horarios de la época lluviosa y seca.

Hora	Época lluviosa		Época seca	
	Inferior	Superior	Inferior	Superior
1	0,06	0,20	0,06	0,21
2	0,08	0,20	0,07	0,22
3	0,08	0,21	0,08	0,23
4	0,08	0,23	0,08	0,24
5	0,09	0,24	0,08	0,25
6	0,10	0,24	0,10	0,26
7	0,10	0,24	0,10	0,26
8	0,10	0,24	0,09	0,26
9	0,09	0,21	0,09	0,24
10	0,07	0,14	0,07	0,19
11	0,06	0,08	0,06	0,13
12	0,05	0,06	0,05	0,10
13	0,01	0,01	0,01	0,04
14	0,01	0	0,01	0,02
15	0	0	0	0
16	0	0	0	0
17	0,01	0,01	0,01	0,02
18	0,01	0,05	0,02	0,06
19	0,02	0,11	0,02	0,11
20	0,04	0,15	0,03	0,15
21	0,04	0,16	0,04	0,17
22	0,04	0,17	0,05	0,19
23	0,06	0,19	0,05	0,20

Fuente: Elaboración propia

Realizado por: Saguay Bryan, 2023.

En la Ilustración 4-31 se evidencia una relación inversa entre la temperatura ambiental y la distancia. A medida que la distancia aumenta, la temperatura ambiental tiende a disminuir de manera consistente.

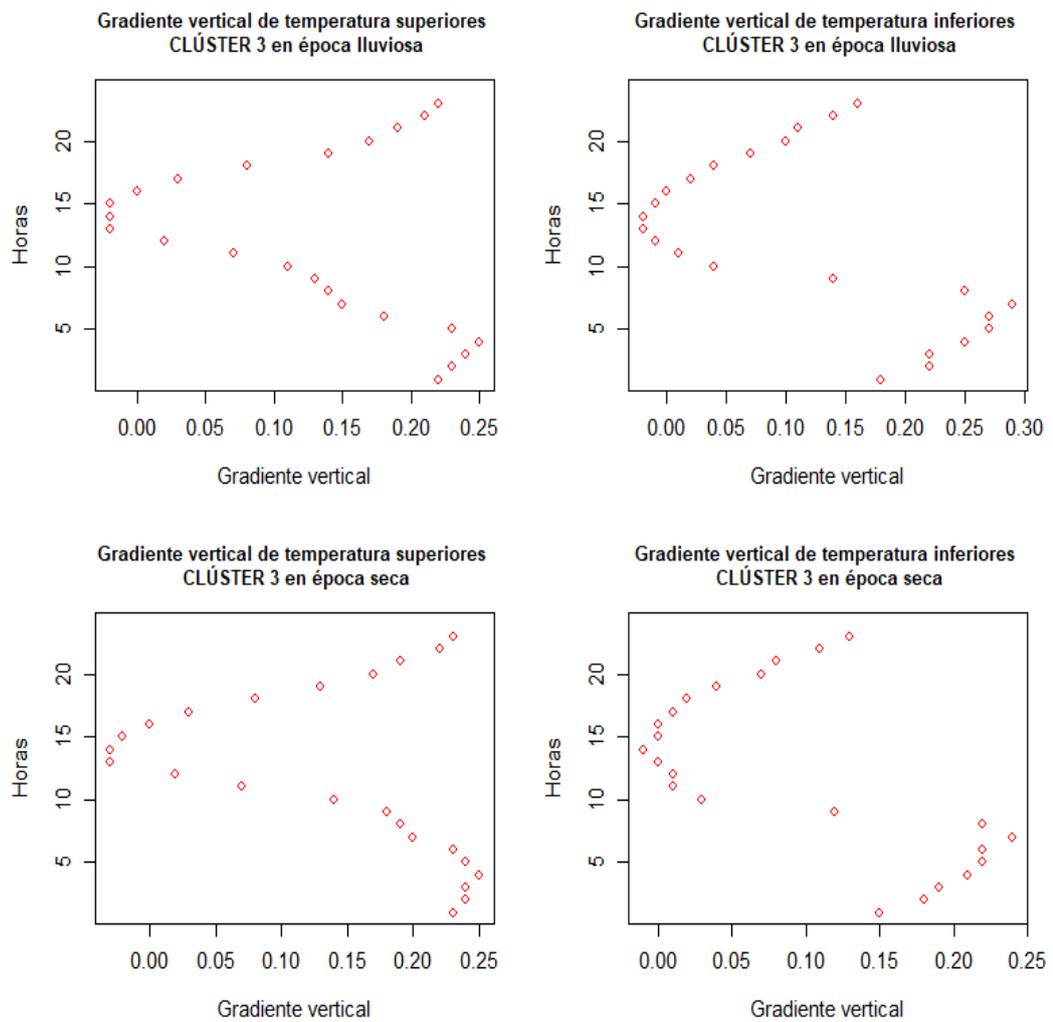


Ilustración 4-31: Gradiente vertical de temperatura superior e inferior CLÚSTER 3 época lluviosa y seca.

Realizado por: Saguay B., 2023.

Estaciones meteorológicas CLÚSTER 4

4.1.4.26 Media y desviación estándar funcional CLÚSTER 4

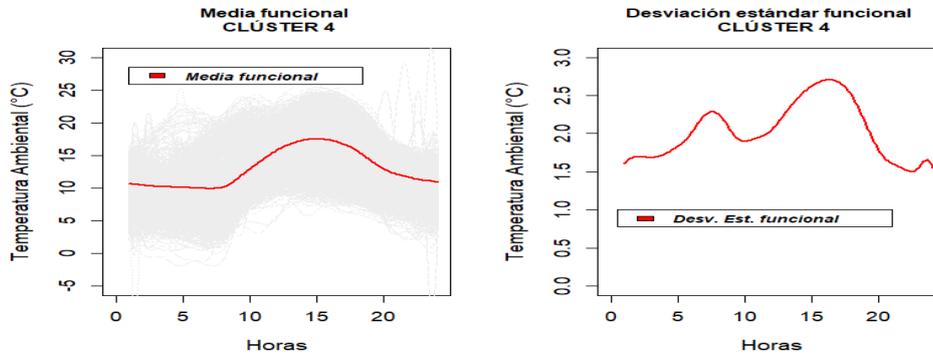


Ilustración 4-32: Media y desviación estándar funcional de CLÚSTER 4: ESPOCH, Matus, Quimiag y Tunshi.

Realizado por: Saguay B., 2023.

Hacia el mediodía alcanza su punto máximo, con una temperatura promedio de 16 °C. A medida que avanza el día, la temperatura disminuye gradualmente. Es interesante destacar que la desviación estándar funcional en este sector muestra una variabilidad reducida con respecto a su media.

4.1.4.27 Covarianza funcional CLÚSTER 4

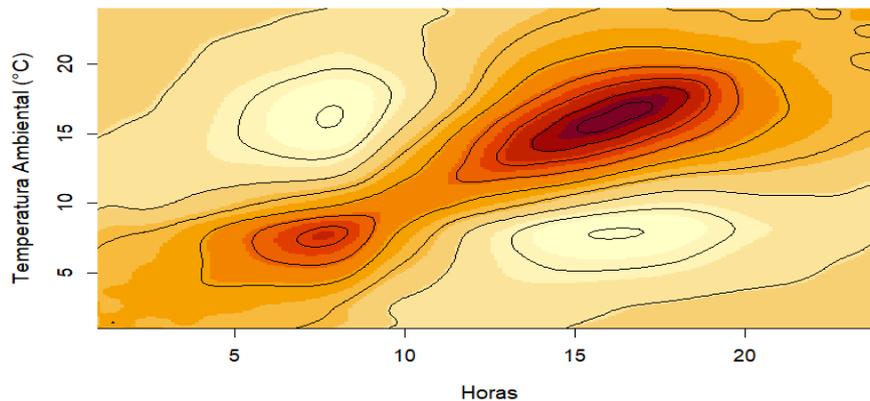


Ilustración 4-33: Covarianza funcional CLÚSTER 4: ESPOCH, Matus, Quimiag y Tunshi.

Realizado por: Saguay B., 2023.

Se observó que posterior a las primeras 10 horas del día las temperaturas se mantienen por encima de los 10°C mostrando una tendencia hacia valores más altos dentro de estas horas. Una observación interesante es que la temperatura más frecuente registrada es de 15°C.

4.1.4.28 Análisis de clúster CLÚSTER 4

Se ha elaborado una agrupación de los meses que presentan temperaturas similares entre sí, donde se obtuvo dos clústeres, representando así la distinción entre la época seca y lluviosa en Ecuador.

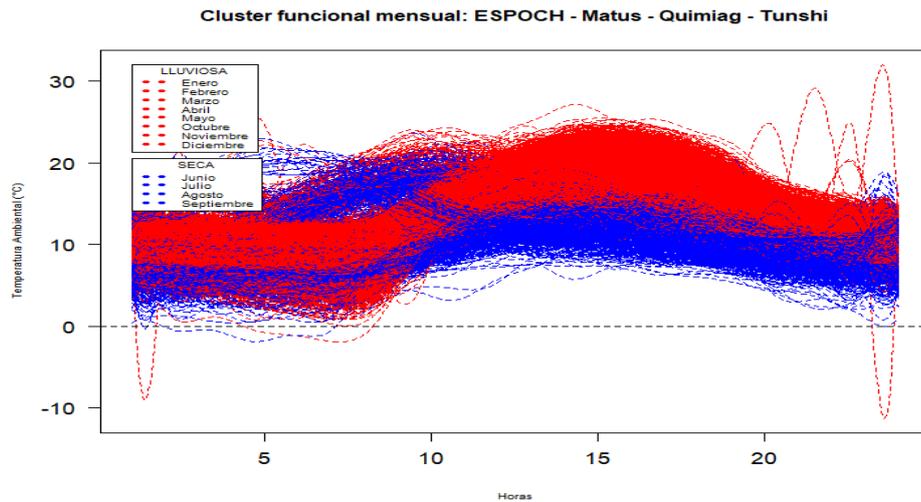


Ilustración 4-34: Análisis de Clúster funcional mensual de CLÚSTER 4.

Realizado por: Saguay B., 2023.

En la tabla 4-19 se resume el análisis de clústeres mensuales, con el siguiente detalle:

Tabla 4-19: Clústeres mensuales

MES	% CLÚSTER 1	% CLÚSTER 2
ENERO	20,71	63,78
FEBRERO	12,41	75,55
MARZO	19,71	70,07
ABRIL	23,36	65,15
MAYO	27,83	63,59
JUNIO	51,92	33,85
JULIO	62,32	20,16
AGOSTO	52,65	18,61
SEPTIEMBRE	35,68	27,74
OCTUBRE	18,53	55,75
NOVIEMBRE	9,85	66,06
DICIEMBRE	15,97	66,24

Fuente: Elaboración propia

Realizado por: Saguay B., 2023.

4.1.4.29 Media y desviación estándar funcional CLÚSTER 4 época lluviosa y seca

Se logró observar que en la época seca presenta temperaturas más frescas teniendo hasta temperaturas promedio máxima de 11°C y la temperatura máxima promedio en la época lluviosa es de 12°C.

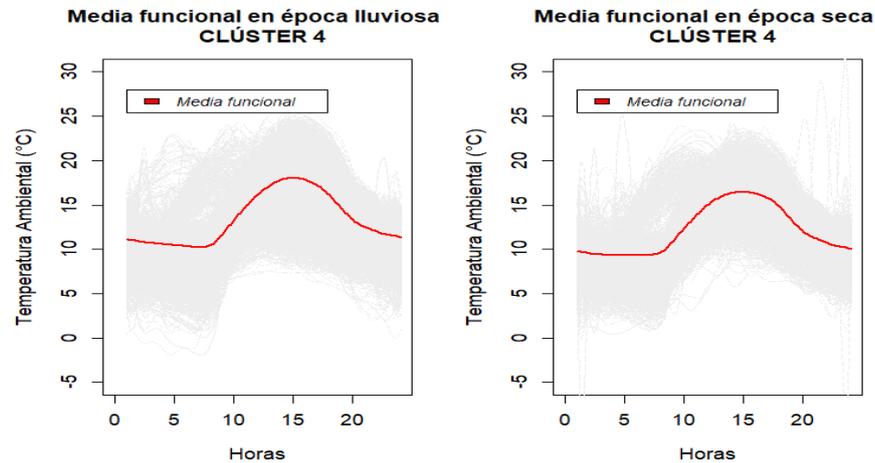


Ilustración 4-35: Media funcional de CLÚSTER 4 época lluviosa y seca.

Realizado por: Saguay B., 2023.

4.1.4.30 Covarianza funcional CLÚSTER 3 época lluviosa y seca

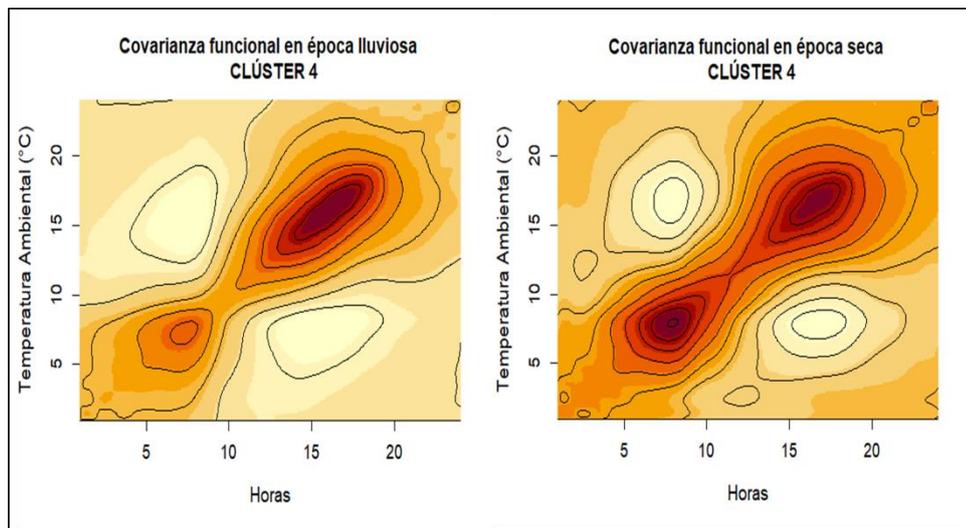


Ilustración 4-36: Covarianza funcional de CLÚSTER 4 época lluviosa y seca.

Realizado por: Saguay B., 2023.

Se encontró que en las primeras horas del día las temperaturas se mantenían por debajo de los 10°C, mientras que entre las 14:00 y las 16:00 horas se registraban temperaturas cercanas a 15°C.

4.1.4.31 Umbrales horarios de CLÚSTER 4 en época lluviosa y seca

Época lluviosa

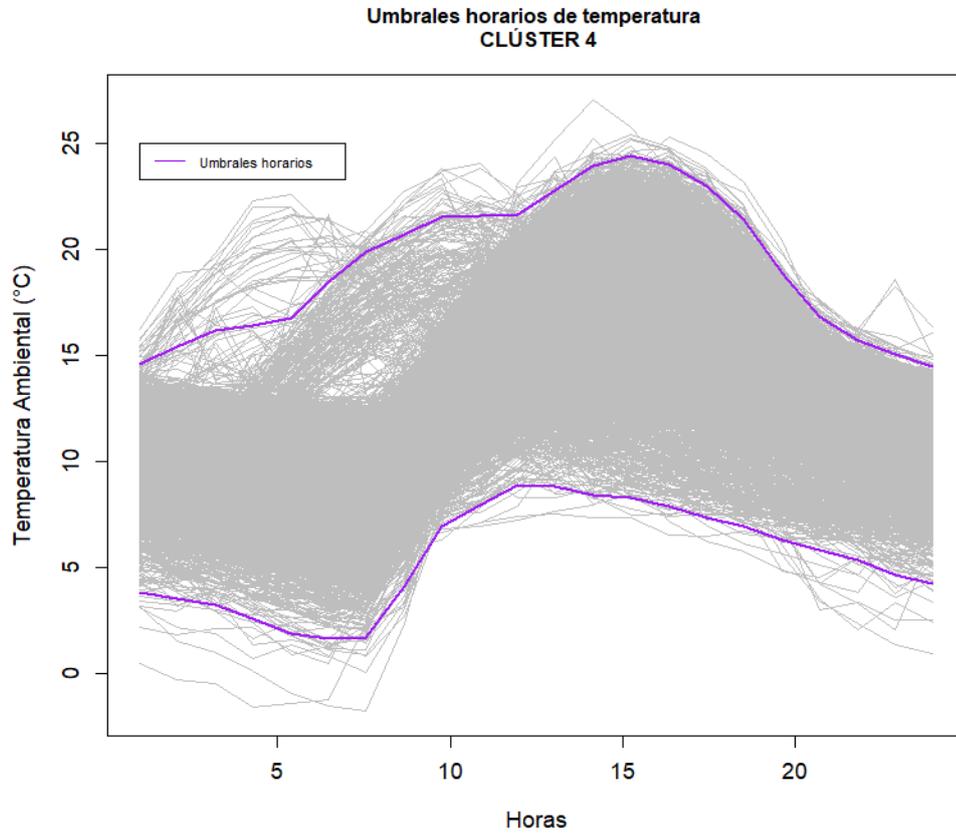


Ilustración 4-37: Umbrales horarios CLÚSTER 4 en época lluviosa.

Realizado por: Saguay B., 2023.

En la Ilustración 4-37 se muestran bandas de confianza del 95% para evaluar temperaturas superiores e inferiores. Los umbrales alcanzan su punto máximo alrededor de las 15:00 horas, con aproximadamente 24°C para el superior y 9°C para el inferior, antes de descender a alrededor de 15°C y 2°C, respectivamente.

Se presentan los umbrales horarios superiores e inferiores de temperatura, los cuales se muestran en la Tabla 4-20 y puede ayudar a constatar lo mencionado.

Tabla 4-20: Umbrales horarios CLÚSTER 4 época lluviosa.

Hora	Umbrales horarios inferiores	Umbrales horarios superiores
1	3,88	14,66
2	3,62	15,43
3	3,38	16,16
4	2,87	16,46
5	2,17	16,58
6	1,80	17,74
7	1,58	19,33
8	2,46	20,31
9	5,14	21,05
10	7,37	21,67
11	8,11	21,65
12	8,98	21,75
13	8,93	22,78
14	8,51	23,87
15	8,37	24,44
16	8,10	24,24
17	7,61	23,50
18	7,22	22,34
19	6,76	20,41
20	6,18	18,11
21	5,79	16,51
22	5,31	15,66
23	4,64	15,05
24	4,29	14,55

Fuente: Elaboración propia

Realizado por: Saguay Bryan, 2023.

Época seca

Se presentan los umbrales horarios superiores e inferiores de temperatura, los cuales se muestran en la Tabla 4-21.

Tabla 4-21: Umbrales horarios CLÚSTER 4 época seca.

Hora	Umbrales horarios inferiores	Umbrales horarios superiores
1	3,13	13,04
2	2,32	12,84
3	2,40	12,98
4	2,26	13,78
5	1,92	14,50
6	1,40	15,85
7	1,07	17,85
8	2,09	19,68
9	4,29	20,95
10	6,19	21,47
11	7,57	21,24
12	8,54	20,81
13	8,39	21,35
14	8,67	22,44
15	8,56	22,73
16	7,94	22,31
17	7,62	21,62
18	7,20	20,57
19	6,21	18,67
20	5,29	16,66
21	4,82	15,38
22	4,35	14,32
23	3,71	13,71
24	3,45	13,32

Fuente: Elaboración propia

Realizado por: Saguay Bryan, 2023.

En la Ilustración 4-38, se ilustra la variación de los umbrales de temperatura a lo largo del día. Ambos umbrales alcanzan su punto máximo alrededor de las 15:00 horas, aproximadamente a 23°C y 9°C respectivamente, antes de descender a temperaturas cercanas a los 13°C y 1°C.

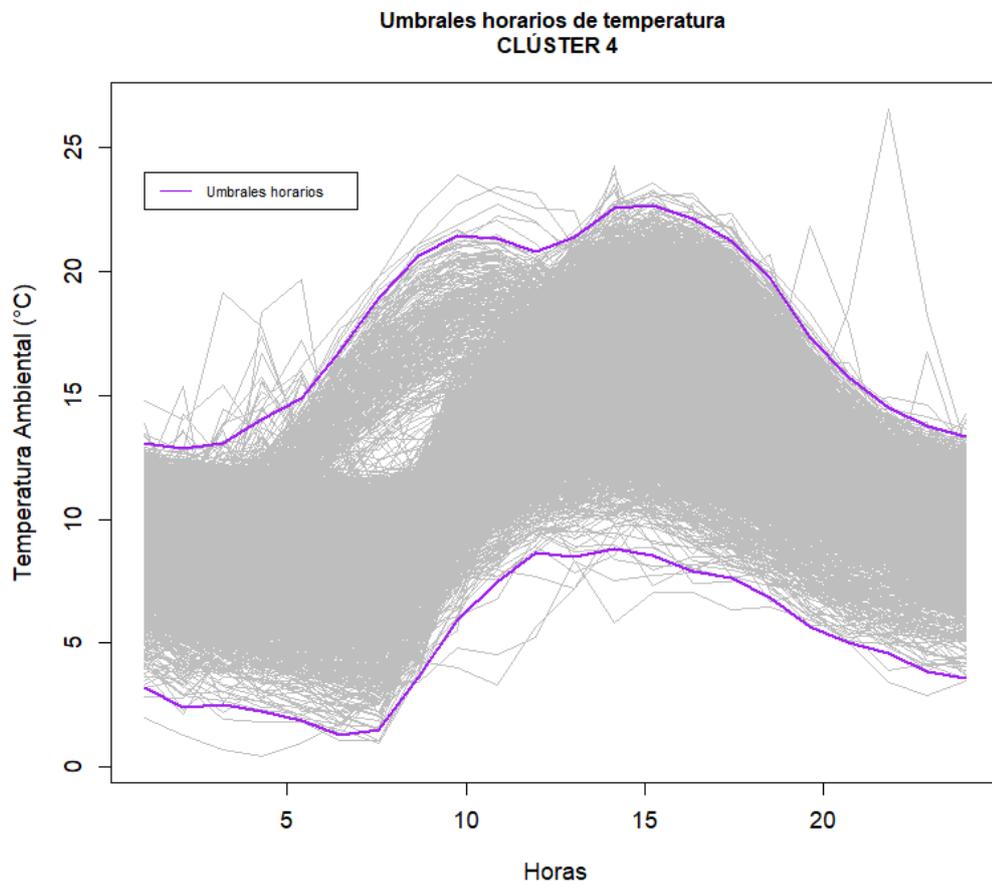


Ilustración 4-38: Umbrales horarios CLÚSTER 4 en época seca.

Realizado por: Saguay B., 2023.

4.1.4.32 Validación de los umbrales horarios en las CLÚSTER 4 a través de gradiente vertical de temperatura

En la Tabla 4-22 se presentan los gradientes de temperatura en las 2 épocas, de la siguiente manera:

Tabla 4-22: Gradientes verticales de temperatura para los umbrales.

Hora	Época lluviosa		Época seca	
	Inferior	Superior	Inferior	Superior
1	0,19	0,39	0,17	0,47
2	0,21	0,35	0,22	0,48
3	0,22	0,31	0,21	0,47
4	0,25	0,29	0,22	0,43
5	0,29	0,28	0,24	0,39
6	0,31	0,22	0,27	0,31
7	0,27	0,08	0,23	0,10
8	0,12	0,03	0,11	0,03
9	0,00	0,00	0,00	0,00
10	-0,04	0,00	-0,08	0,01
11	-0,09	0,00	-0,13	0,04
12	-0,09	-0,06	-0,12	0,01
13	-0,06	-0,12	-0,14	-0,05
14	-0,06	0	-0,13	-0,07
15	0	0	0	0
16	0	0	0	0
17	0,01	-0,04	-0,06	0,05
18	0,03	0,07	0,00	0,16
19	0,07	0,20	0,05	0,27
20	0,09	0,29	0,08	0,34
21	0,11	0,33	0,10	0,40
22	0,15	0,37	0,14	0,43
23	0,17	0,40	0,15	0,45

Fuente: Elaboración propia

Realizado por: Saguay Bryan, 2023.

En la Ilustración 4-39 se evidencia una relación inversa entre la temperatura ambiental y la distancia. A medida que la distancia aumenta, la temperatura ambiental tiende a disminuir de manera consistente.

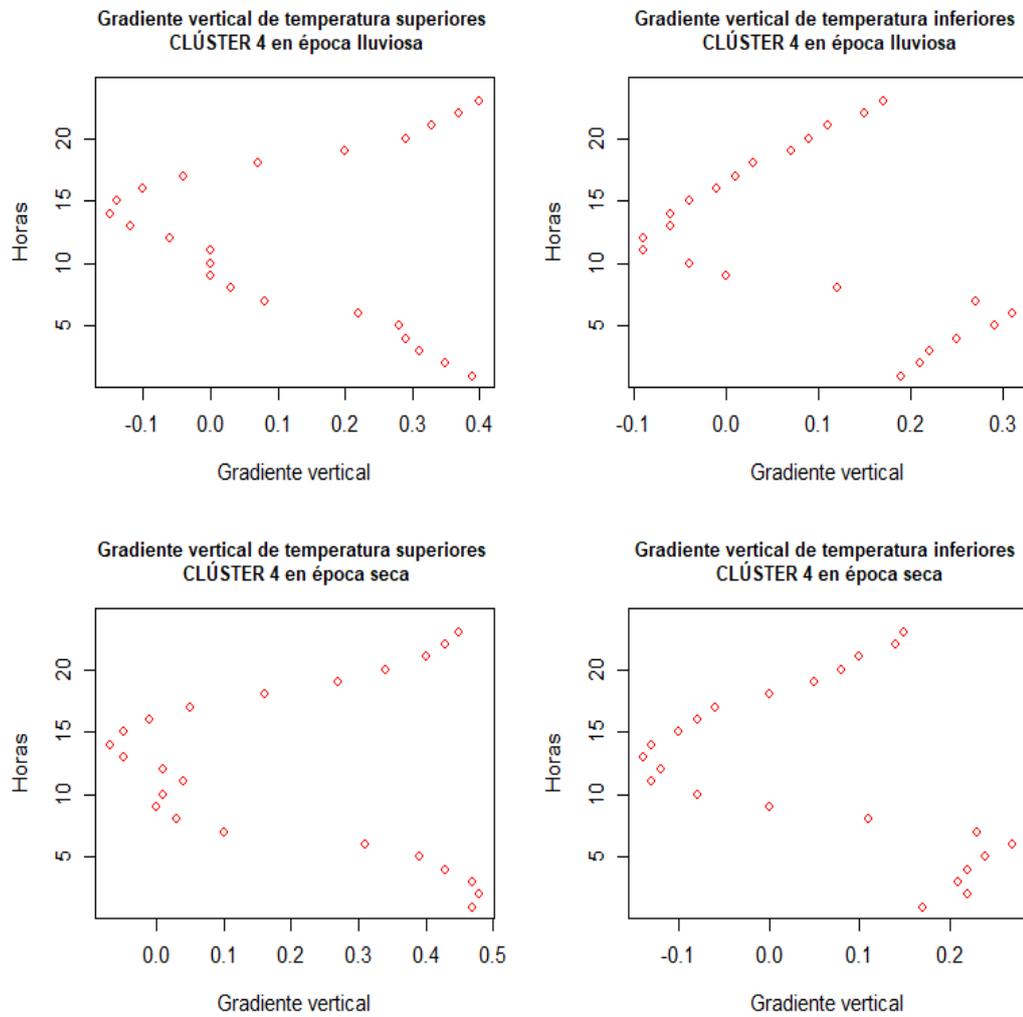


Ilustración 4-39: Gradiente vertical de temperatura superior e inferior CLÚSTER 4 época lluviosa y seca.

Realizado por: Saguay B., 2023.

Estaciones meteorológicas CLÚSTER 5

4.1.4.33 Media y desviación estándar funcional CLÚSTER 5

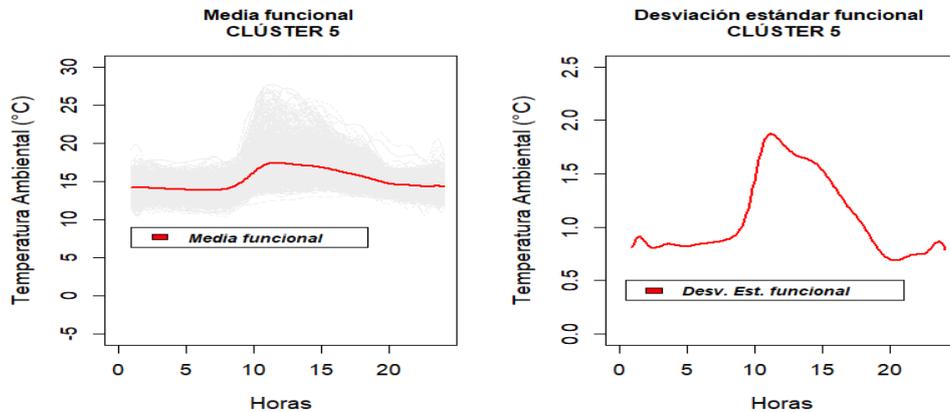


Ilustración 4-40: Media y desviación estándar funcional de CLÚSTER 5: Multitud.

Realizado por: Saguay B., 2023.

Hacia el mediodía alcanza su punto máximo, con una temperatura de 18 °C. A medida que avanza el día, la temperatura disminuye gradualmente hasta llegar a temperaturas cercanas a 12°C. La curva de desviación estándar sugiere una consistencia en la variabilidad de la temperatura durante del día.

4.1.4.34 Covarianza funcional CLÚSTER 5

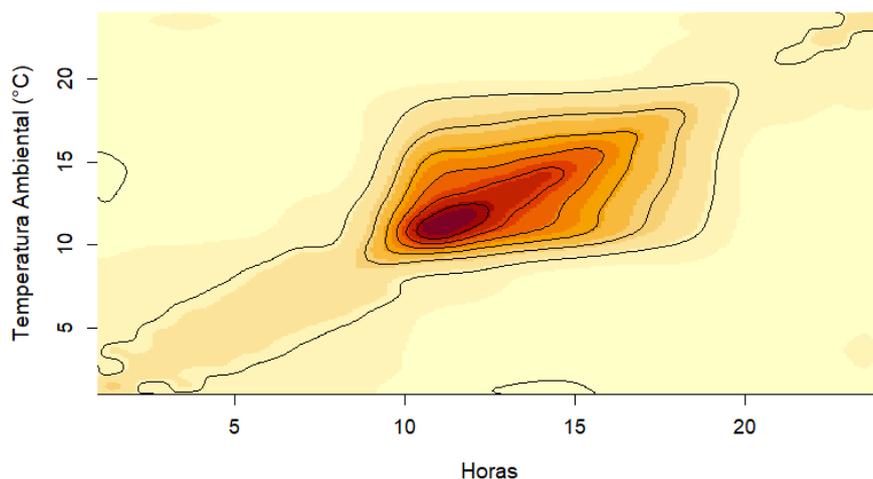


Ilustración 4-41: Covarianza funcional de CLÚSTER 5: Multitud.

Realizado por: Saguay B., 2023.

Posterior a las primeras 10 horas, las temperaturas se mantienen temperaturas mayores a 10°C mostrando una tendencia hacia valores más altos dentro de estas horas.

4.1.4.35 Análisis de clúster CLÚSTER 5

Se ha elaborado una agrupación de los meses que presentan temperaturas similares entre sí, donde se obtuvo dos clústeres, representando así la distinción entre la época seca y lluviosa en Ecuador.

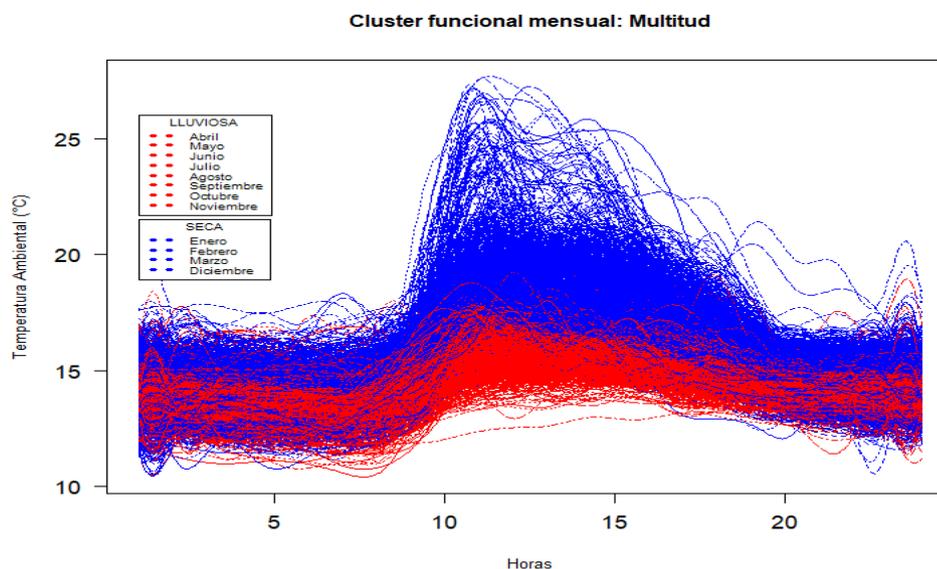


Ilustración 4-42: Análisis de Clúster funcional mensual de CLÚSTER 5.

Realizado por: Saguay B., 2023.

En la tabla 4-23 se resume el análisis de clústeres mensuales, con el siguiente detalle:

Tabla 4-23: Clústeres mensuales.

MES	% CLÚSTER 1	% CLÚSTER 2
ENERO	83,21	16,79
FEBRERO	74,45	25,55
MARZO	53,65	46,35
ABRIL	40,88	59,12
MAYO	22,26	77,74
JUNIO	37,23	62,77
JULIO	36,13	63,87
AGOSTO	36,13	63,87
SEPTIEMBRE	39,05	60,95
OCTUBRE	26,28	73,72
NOVIEMBRE	27,01	72,99
DICIEMBRE	62,04	37,96

Fuente: Elaboración propia

Realizado por: Saguay B., 2023.

4.1.4.36 Media y desviación estándar funcional CLÚSTER 5 época lluviosa y seca

Se logró observar que en la época seca presenta temperaturas más frescas teniendo hasta temperaturas promedio máxima de 17°C y la temperatura máxima promedio en la época lluviosa es de 18°C.

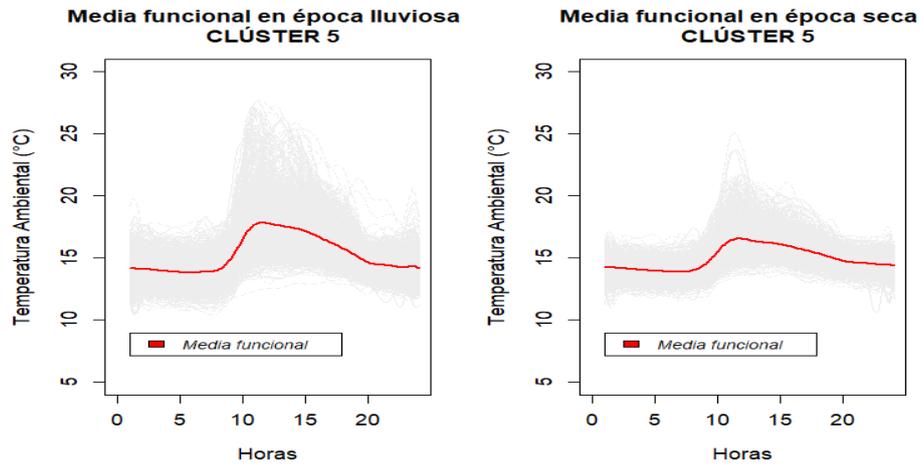


Ilustración 4-43: Media funcional de CLÚSTER 5 época lluviosa y seca.

Realizado por: Saguay B., 2023.

4.1.4.37 Covarianza funcional CLÚSTER 5 época lluviosa y seca

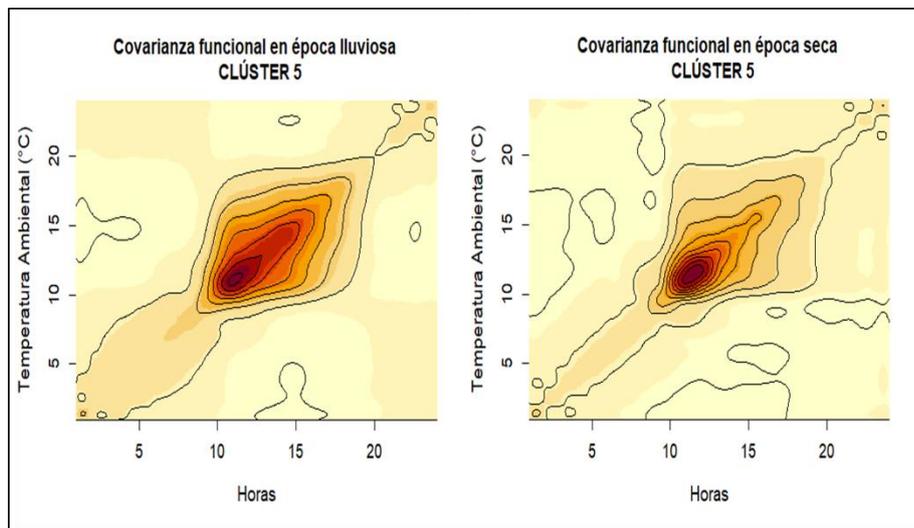


Ilustración 4-44: Covarianza funcional de CLÚSTER 5 época lluviosa y seca.

Realizado por: Saguay B., 2023.

Se encontró que en las primeras diez horas del día las temperaturas se mantenían consistentemente por debajo de los 10°C, mientras que entre las 10:00 y las 15:00 horas se registraban temperaturas que están dentro de 10°C y 15°C.

4.1.4.38 Umbrales horarios de CLÚSTER 5 en época lluviosa y seca

Época lluviosa

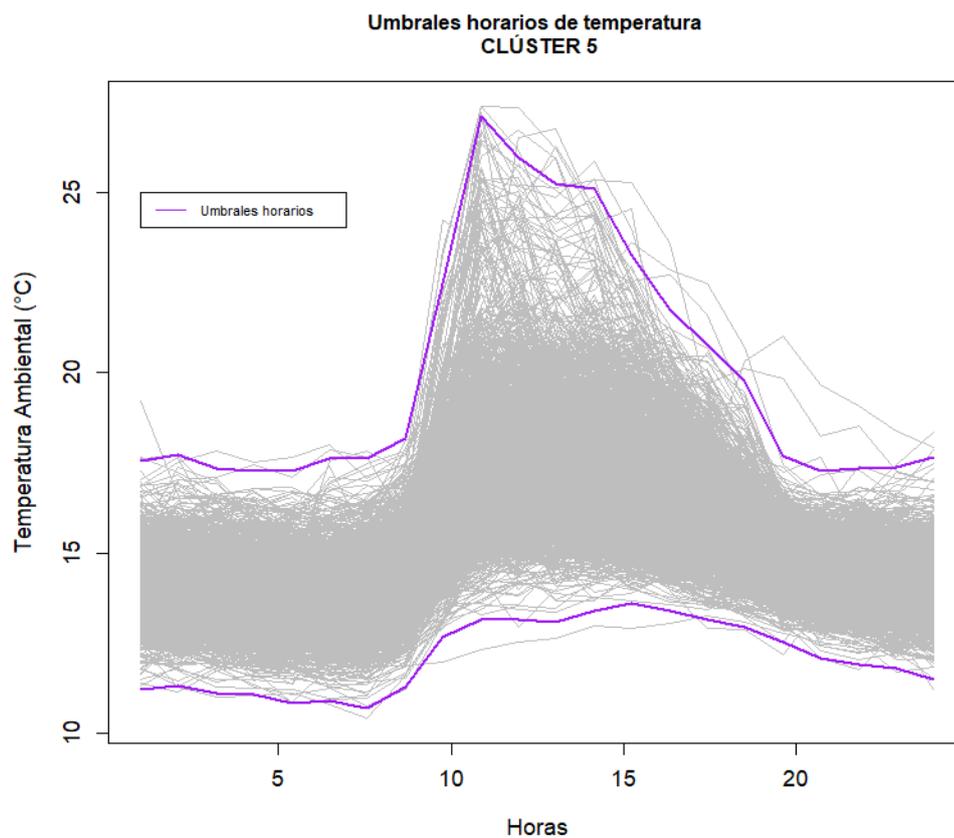


Ilustración 4-45: Umbrales horarios CLÚSTER 5 en época lluviosa.

Realizado por: Saguay B., 2023.

En la Ilustración 4-45 se muestran bandas de confianza del 95% para evaluar temperaturas superiores e inferiores. Los umbrales alcanzan su punto máximo alrededor de las 11:00 horas, con 27°C superior y 14°C inferior a las 13:00 horas, antes de descender a alrededor de 17°C y 11°C.

Se presentan los umbrales horarios superiores e inferiores de temperatura, los cuales se muestran en la Tabla 4-24 y puede ayudar a constatar lo mencionado.

Tabla 4-24: Umbrales horarios CLÚSTER 5 época lluviosa.

Hora	Umbrales horarios inferiores	Umbrales horarios superiores
1	11,20	17,41
2	11,29	17,61
3	11,12	17,24
4	11,08	17,14
5	10,86	17,10
6	10,84	17,32
7	10,77	17,54
8	10,76	17,42
9	11,67	18,94
10	12,84	23,58
11	13,13	27,09
12	13,12	25,73
13	13,06	25,10
14	13,33	25,04
15	13,56	23,57
16	13,46	21,98
17	13,22	20,94
18	13,02	20,24
19	12,75	18,70
20	12,33	17,21
21	11,99	17,15
22	11,86	17,19
23	11,78	17,23
24	11,47	17,51

Fuente: Elaboración propia

Realizado por: Saguay Bryan, 2023.

Época seca

Se presentan los umbrales horarios superiores e inferiores de temperatura, los cuales se muestran en la Tabla 4-25.

Tabla 4-25: Umbrales horarios CLÚSTER 5 época seca.

Hora	Umbrales horarios inferiores	Umbrales horarios superiores
1	11,80	16,58
2	11,83	16,47
3	11,79	16,52
4	11,92	16,38
5	11,87	16,33
6	11,73	16,44
7	11,65	16,63
8	11,71	16,69
9	12,19	17,43
10	12,87	19,73
11	13,34	21,93
12	13,49	22,17
13	13,46	21,07
14	13,58	20,37
15	13,58	20,28
16	13,38	19,78
17	13,01	19,29
18	12,87	18,52
19	12,85	17,58
20	12,60	17,08
21	12,36	16,87
22	12,33	16,80
23	12,22	16,66
24	12,10	16,63

Fuente: Elaboración propia

Realizado por: Saguay Bryan, 2023.

En la Ilustración 4-46, se exhiben bandas de confianza con un nivel del 95% para analizar tanto las temperaturas superiores como las inferiores, junto con los umbrales horarios de temperatura derivados de estas bandas. En la sección inferior de la figura, se ilustra la variación de los umbrales de temperatura a lo largo del día. Ambos umbrales alcanzan su punto máximo alrededor de las 11:00 horas, aproximadamente a 22°C y 14°C respectivamente, antes de descender a temperaturas cercanas a los 17°C y 12°C.

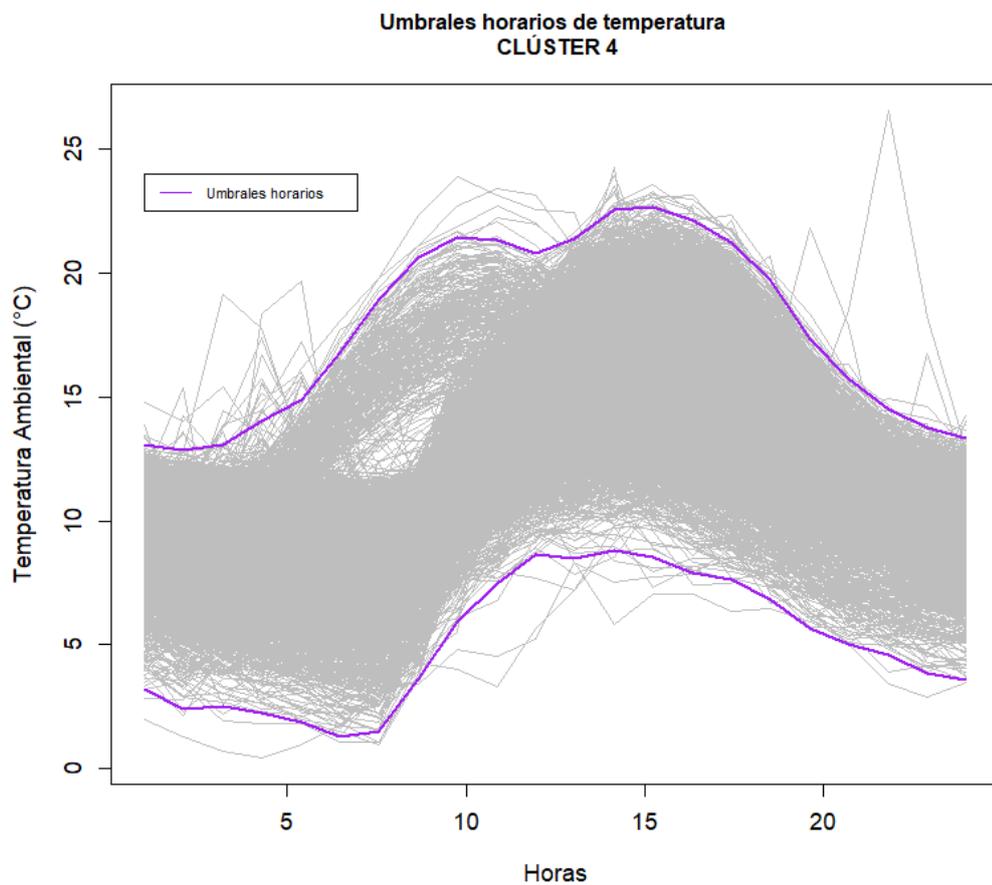


Ilustración 4-46: Umbrals horarios CLÚSTER 5 en época seca.

Realizado por: Saguay B., 2023.

4.1.4.39 Validación de los umbrales horarios en las CLÚSTER 5 a través de gradiente vertical de temperatura

En la Tabla 4-26 se presentan los gradientes de temperatura en las 2 épocas, de la siguiente manera:

Tabla 4-26: Gradientes verticales de temperatura para los umbrales.

Hora	Época lluviosa		Época seca	
	Inferior	Superior	Inferior	Superior
1	-0,04	-0,01	-0,01	-0,01
2	-0,04	-0,03	-0,01	0,00
3	-0,02	0,02	-0,02	0,01
4	0,00	0,02	-0,01	0,01
5	0,00	0,00	0,00	0,00
6	0,01	-0,02	0,01	-0,02
7	0,01	-0,01	0,00	-0,03
8	-0,08	-0,16	-0,05	-0,10
9	-0,20	-0,62	-0,11	-0,33
10	-0,23	-0,97	-0,16	-0,55
11	0	-1	0	-1
12	-0,22	-0,78	-0,17	-0,46
13	-0,25	-0,77	-0,18	-0,39
14	-0,27	-0,62	-0,18	-0,38
15	-0,26	-0,46	-0,16	-0,33
16	-0,24	-0,36	-0,13	-0,28
17	-0,22	-0,29	-0,11	-0,21
18	-0,19	-0,14	-0,11	-0,11
19	-0,15	0,01	-0,09	-0,06
20	-0,11	0,02	-0,06	-0,04
21	-0,10	0,01	-0,06	-0,04
22	-0,09	0,01	-0,05	-0,02
23	-0,06	-0,02	-0,04	-0,02

Fuente: Elaboración propia

Realizado por: Saguay Bryan, 2023.

En la Ilustración 4-47 se evidencia una relación inversa entre la temperatura ambiental y la distancia. A medida que la distancia aumenta, la temperatura ambiental tiende a disminuir de manera consistente.

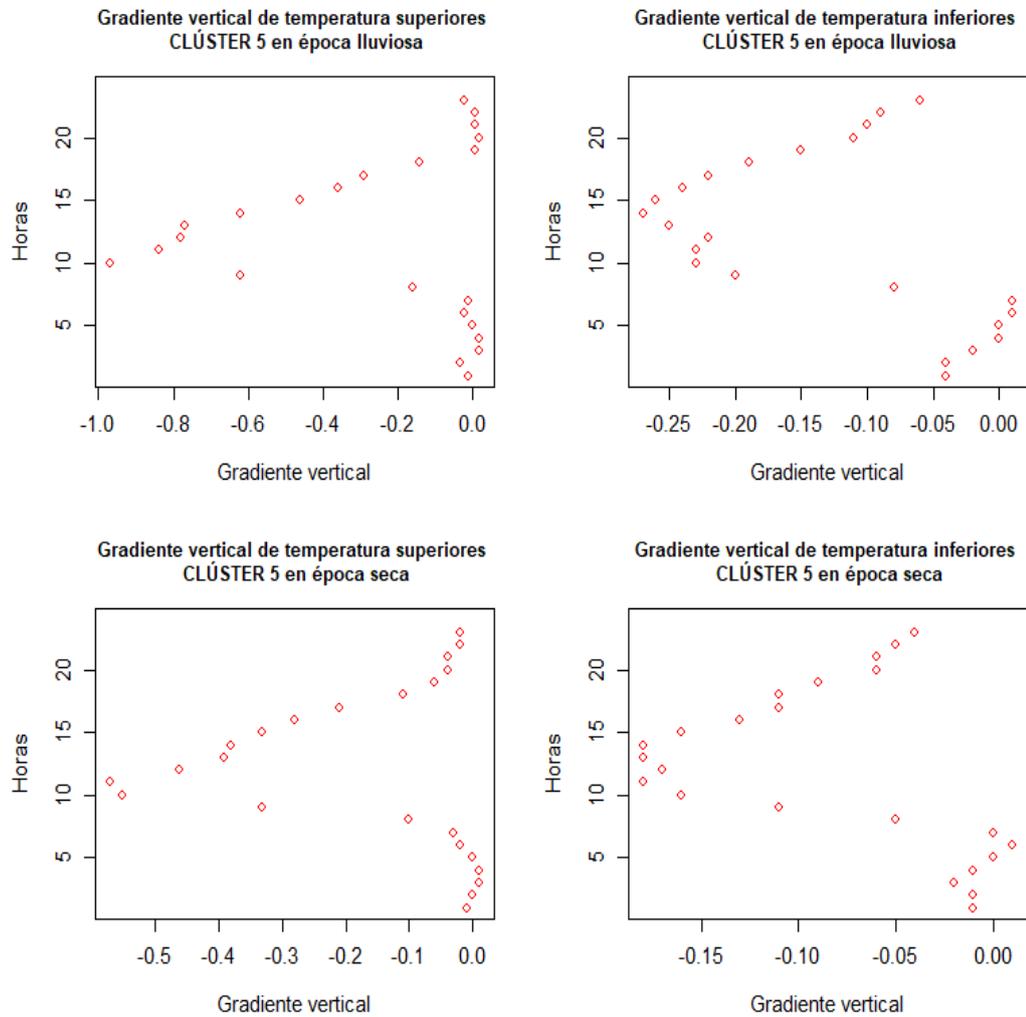


Ilustración 4-47: Gradiente vertical de temperatura superior e inferior CLÚSTER 5 época lluviosa y seca.

Realizado por: Saguay B., 2023.

4.2 Discusión

La determinación de los umbrales horarios de temperatura es esencial para planificar diferentes actividades en la provincia de Chimborazo. Entre estas actividades están la gestión de riesgos de la salud, agricultura, entre otros, que permitan responder eficazmente ante las condiciones extremas del clima.

En la provincia de Chimborazo, la temperatura disminuye aproximadamente 6.5°C por cada 1000 metros de aumento en la altitud. Este gradiente vertical de temperatura ejerce una influencia significativa en el clima local y en la distribución de la biodiversidad debido a la topografía variada de la región. Las fluctuaciones abruptas de temperatura en las áreas montañosas afectan tanto a la flora como a la fauna, así como a las actividades humanas.

El análisis de los umbrales horarios de temperatura y la comprensión del método de gradiente vertical de temperatura son esenciales para tomar decisiones en la provincia de Chimborazo. Estas mediciones ayudan no solo a conservar de la diversidad de flora y fauna de la región, si no a su vez también la reducción de los impactos en el ambiente que pueden ser perjudiciales.

4.3 Comprobación de la hipótesis

Tras realizar un análisis estadístico de los datos de temperatura recopilados en la provincia de Chimborazo, se han obtenido conclusiones importantes con respecto a nuestro estudio. En particular, se ha definido umbrales horarios de temperatura que reflejan las características únicas del clima de la provincia de Chimborazo, considerando aspectos distintos como son la altura en la ubicación de las estaciones meteorológicas y las temperaturas distintas en cada zona de estudio.

Los resultados revelan que los métodos estadísticos con datos funcionales son efectivos para aceptar respaldar la validez de la hipótesis planteada al inicio del estudio. Este enfoque ha permitido identificar patrones claros en la variación de la temperatura a medida del paso del tiempo y aumento de la altura, a su vez como definir umbrales horarios de temperatura que reflejan las características específicas del clima total.

Estos hallazgos contribuyen a una mejor comprensión del clima local y proporcionan herramientas valiosas para abordar los desafíos asociados con la variabilidad climática en la región.

CONCLUSIONES

- Los umbrales horarios de temperatura hallados servirán para validar los registros de temperatura de las estaciones meteorológicas de la provincia de Chimborazo.
- Mediante análisis de clúster funcional de las temperaturas en 11 estaciones meteorológicas en Chimborazo, se identificaron 5 grupos. Se realizó un análisis detallado de su comportamiento a lo largo de los años, destacando que los clústeres 1, 3 y 4 muestran una variabilidad de temperatura entre las 8:00 hasta las 20:00 horas, encontrando su temperatura máxima a las 15:00. En contraste, el clúster 2 alcanza su temperatura máxima a las 16:00 horas, mientras que el clúster 5 lo hace a las 11:00 horas. Estos resultados revelan distintos patrones de variación de temperatura a lo largo del día para cada clúster.
- Al aplicar el método bootstrap funcional con respecto a los límites superiores e inferiores se revela una variabilidad significativa a lo largo de las 8:00 a 20:00 horas en los clústeres analizados. A pesar de esta variabilidad, se observa una tendencia de aumento de temperatura desde las 8:00 pero variando la hora exacta en la que alcanzan su temperatura máxima en el caso de los clústeres 1, 3 y 4 siendo a las 15:00, en el clúster 2 a las 16:00 y en el clúster 5 a las 11:00, compartiendo una coherencia en el comportamiento térmico durante este intervalo de tiempo.
- En este estudio, se ha logrado identificar y establecer bandas de confianza para las temperaturas horarias con un nivel de confianza del 95 % en cada uno de los clústeres de estaciones meteorológicas. Estas bandas permiten comprender la variabilidad térmica en cada clúster.
- Establecer los umbrales horarios de temperatura en las diferentes estaciones meteorológicas permite identificar los momentos del día en los que las temperaturas alcanzan niveles críticos. Esta información es fundamental para comprender las condiciones térmicas específicas en cada ubicación y para la toma de decisiones en áreas como la agricultura, la gestión de recursos naturales y la planificación urbana, donde la comprensión de los umbrales térmicos es esencial para adaptarse eficazmente a los cambios climáticos.
- Tras aplicar el gradiente vertical de temperatura para validar los umbrales establecidos, se evidenció una coherencia significativa en los resultados obtenidos. Lo que respalda su precisión y fiabilidad, esto resalta la utilidad de los umbrales horarios definidos para detectar las temperaturas críticas en la variación de esta.

RECOMENDACIONES

- Aplicar análisis de varianza (ANOVA) funcional para corroborar que existen temperaturas similares dentro de los clústeres a analizar, lo que permite una identificación de umbrales de temperaturas más fiables para cada estación meteorológica.
- Analizar de manera más detallada el comportamiento de la temperatura ambiental en las estaciones meteorológicas en relación con los años, lo que permite conocer si existe o no un crecimiento de la temperatura con respecto al tiempo.
- Contrastar la información de los umbrales hallados con una técnica física distinta a la propuesta en este estudio.
- Incorporar estadística con datos funcionales en la malla curricular de la carrera de estadística.

BIBLIOGRAFÍA

1. **ALVARINO GAITÁN, Yujaina; & OCAMPO BAUTISTA, Viviana.** Análisis de las variables climatológicas temperatura, humedad relativa, precipitación, evaporación, brillo solar, radiación, velocidad y dirección del viento, medidas por la estación meteorológica “Argelia” entre los años 1993 – 2013 para verificar la variabilidad climática del municipio de Girardot, Tesis Doctoral, 2016.
2. **BRAVO, Diego; GARCÍA, Alexander; MUÑOZ, Walter.** "Diseño e Implementación de un Prototipo de Estación Meteorológica". Revista universitaria de telecomunicaciones informática y control Universidad del Cauca, 2012, vol. 1, no 2.
3. **CASTILLO, Sergio, FLORES, Miguel y HERRERA, Giovanni.** Análisis de Datos Funcionales Aplicado al Riesgo Financiero: Un caso de Estudio en Cooperativas de Ahorro y Crédito Ecuatorianas. Latin American Journal Computing, 2015, vol. 15, no. 1.
4. **CHECA JIMÉNEZ, José.** Interpolación Spline y aplicación a las curvas de nivel. Departamento de Matemática aplicada y análisis. Tesis [en línea], 2018, p. 19-21. Disponible en: <https://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/122512/2/memoria.pdf>.
5. **DÍAZ JIMÉNEZ, Julio, et al.** Temperaturas umbrales de disparo de la mortalidad atribuible al calor en España en el periodo 2000-2009. Instituto de Salud Carlos III [en línea], 2015, [consulta: 14 noviembre 2023]. ISBN 725-15-015-7. Disponible en: <http://gesdoc.isciii.es/gesdoccontroller?action=download&id=24/07/2015-fe69310aba>.
6. **FEBRERO, Manuel; & DE LA FUENTE, Manuel.** Computación estadística en análisis de datos funcionales: el paquete R FDA.usc. Revista de software estadístico, [en línea], 2012, vol. 51, p. 1-28. [consulta: 9 enero 2023]. ISSN 1548-7660. Disponible en: <https://www.jstatsoft.org/article/view/v051i04>.
7. **FINK, Andreas, et al.** Diagnóstico e impactos sinópticos de las olas de calor del verano europeo de 2003 y la sequía. Tiempo [en línea], 2004, vol. 59, no. 8, p. 209-216. [consulta: 9 enero 2023]. DOI 10.1256/wea.73.04. Disponible en: https://oceanrep.geomar.de/id/eprint/30311/1/200459803_ftp.pdf.
8. **GATO, Shirley; JAYASURIYA, Niranjali; & ROBERTS, Pedro.** Umbrales de temperatura y precipitaciones para el modelado de la demanda de agua urbana de uso base. Revista de hidrología, 2007, vol. 337, no. 3, p. 364-376, ISSN 0022-1694.

9. **GASQUET, Claude; & WITOMSKI, Patricio.** Análisis y aplicaciones de Fourier: filtrado, computación numérica, wavelets. Springer Science & Business Media, 2013, vol. 30.
10. **GÓMEZ UZQUIANO, Jesús, et al.** Estudio de algoritmos de reducción de imágenes digitales mediante interpolación lineal. 2010.
11. **IGLESIAS VÁZQUEZ, Joel.** Comparación de Bandas de Confianza para el Estimador de Kaplan-Meier. Centro de Investigación en Matemáticas [en línea], 2002. Disponible en: <https://cimat.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1008/290>.
12. **JAMES, Ramsay, et al.** Introduction to functional data analysis. Functional data analysis with R and MATLAB [en línea], 2009, p. 1-19. [consulta: 10 de enero 2023] ISBN 978-0-387-98184-0. Disponible en: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-0-387-98185-7_1.
13. **MONTERO, Juan Carlos, et al.** Dificultades para definir el término “ola de calor” en salud pública. Revista internacional de investigación en salud ambiental, 2013, vol. 23, núm. 5, pág. 377-379.
14. **ORDOÑEZ, María Eugenia.** Hongos del Ecuador. Versión 2018.0. Fungario QCAM, Pontificia Universidad Católica del Ecuador [en línea], 2018. [consulta: 29 enero 2024]. Disponible en: <https://bioweb.bio/fungiweb>.
15. **PÉREZ ATEHORTÚA, Daniel Armando.** "Diseño de mapas de información de radiación solar en el departamento de Caldas a través de métodos de interpolación y herramientas de SIG". Universidad Católica de Manizales [en línea], 2021, (Colombia). [consulta: 10 de enero 2023]. Disponible en: <https://repositorio.ucm.edu.co/jspui/handle/10839/3288>.
16. **PÉREZ MONTILLA, Andrés, et al.** Métodos Avanzados de Análisis de Datos Funcionales. Tesis de Maestría [en línea], 2018. [consulta: 28 junio 2023]. Disponible en: <https://rodin.uca.es/handle/10498/20583>.
17. **PÉREZ MUÑUZURI, Vicente; & SENDIÑA NADAL, Irene.** Fundamentos de meteorología. Universidad de Santiago de Compostela [en línea], 2006, p. 1-197. [consulta: 14 noviembre 2023] ISBN: 9788419679260. Disponible en: <https://digital.casalini.it/9788419679260> - Casalini id: 5494738.

18. **PÉREZ, Natalia Alexandra; MULLO, Héctor Salomón; & MARCATOMA, Jessica Alexandra.** Análisis del cambio climático en un ecosistema alto andino, Riobamba-Ecuador. Perfiles, 2020, vol. 1, no. 23, p. 4-11.
19. **PICÓN LLAMAS, David Miguel, et al.,** 2019. Análisis de Datos Funcionales aplicado a datos de temperatura en España [en línea], 2019. [consulta: 10 de enero 2023]. Disponible en: <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/38312>.
20. **RODRÍGUEZ JIMÉNEZ, Rosa; CAPA BENITO, Agueda; & PORTELA LOZANO, Adelaida.** Meteorología y Climatología. Fundación española para la ciencia y la tecnología, 2004, p. 12-16.
21. **ROHLI, Robert; & VEGA, Antonio.** Climatology. Jones & Bartlett Learning, 2017. [consulta: 10 de enero 2023] ISBN 978-1-284-11998-5.
22. **RUDNER, Lawrence; & SHAFER, María.** Remuestreo: una unión de computadoras y estadística. Resumen ERIC/TM [en línea], 1992. [consulta: 28 junio 2023] S.l.: American Institutes for Research, 3333 K Street, N. Disponible en: <https://eric.ed.gov/?id=ED355252>.
23. **SANTANA SEPÚLVEDA, Sergio; & FARFÁN MATEOS, Efraín** El arte de programar en R: un lenguaje para la estadística. UNESCO. Comité Nacional Mexicano del Programa Hidrológico Internacional [en línea], 2014. [consulta: 14 noviembre 2023]. ISBN 978- 607-9368-15-9. Disponible en: http://repositorio.imta.mx/bitstream/handle/20.500.12013/1151/IMTA_520.pdf?sequence=10.



ANEXOS

ANEXO A: LISTA DE LIBRERÍAS DE R UTILIZADAS EN EL ESTUDIO.

```
library(fda)
library(fda.usc)
library(readxl)
library(stringr)
library(ggplot2)
library(tidyr)
library(dplyr)
library(openxlsx)
```

ANEXO B: IMPORTACIÓN DE DATOS A RSTUDIO.

Contiene los códigos utilizados para realizar el llamado de la información contenida en un archivo con extensión .xlsx hacia la Rstudio, y seguidamente analizar las matrices de datos obtenidos de las cuales se realizó la identificación de diferentes características estadísticas mediante el análisis de datos funcionales.

```
ESTACIONES_COMPLETAS<-read.xlsx(xlsxFile =
"Base/ESTACIONES_COMPLETAS.xlsx",sheet= "BaseG")
```

ANEXO C: ARMADO DE LA BASE DATOS DE TEMPERATURA AMBIENTAL.

Se ocupa la función spread() para poder utilizar las horas del día como filas y el valor de las celdas es dado por la temperatura.

```
df_ESTACIONES<-spread(data=ESTACIONES_COMPLETAS,key=Hora,value=Temperatura)
```

ANEXO D: LIMITACIÓN DE LAS HORAS DE ESTUDIO.

En esta parte delimitamos la información a las horas de 00h00 hasta las 23h00, esta delimitación se realizó porque cada hora contiene los promedios de temperatura ambiental obtenidas.

```
argm<-1:nrow(DF_ESTACIONES)
DF_ESTACIONES<-as.matrix(t(df_ESTACIONES[,5:28]))
```

ANEXO E: SUAVIZADO DE CURVAS Y OPTIMIZACIÓN DE NÚMERO DE BASES B-SPLINE Y FOURIER.

El código `min.basis()` ayudo a optimizar el número de bases necesarias para detallar de mejor manera a la temperatura ambiental de cada una de las estaciones, además la función `plotfit.fd()` apporto en la elección de las bases B-spline con el error cuadrático medio mínimo.

```
nbopt <- optim.basis(ALAO2014, type.CV = GCV.S, verbose = T, type.basis =  
"bspline") a<-nbopt$numbasis
```

```
min(a)
```

La función `smooth.basis()` ajusta a la información de `rsg` de los diferentes años de estudio obteniendo curvas que serán utilizadas en el tratamiento estadístico.

```
Estaciones_f<-smooth.basis(argvals=argm,  
y=DF_ESTACIONES,fdParobj=ESTACIONES_f)$fd
```

La siguiente lista de gráficos muestra los ajustes B-spline y Fourier, según el número de bases con su respectivo RMS.

```
plotfit.fd(y = DF_ESTACIONES,argvals = argm,fdobj = Estaciones,rng = c(1,24),xlab =  
"Horas",ylab = "Temperatura Ambiental °C",col = red",main=RMS, B-Splines")
```

ANEXO F: DETECCIÓN DE CURVAS ATÍPICAS.

La función `boxplot.fd()` sirve para observar las curvas de atípicas en las estaciones.

```
boxplot.fd(x = Estaciones,col="#CAE1FF",xlab="Horas",ylab="Temperatura  
Ambiental (°C)",main="Boxplot Funcional de las 11 estaciones  
meteorológicas completas")
```

ANEXO G: ANÁLISIS DE ESTADÍSTICAS DESCRIPTIVAS FUNCIONALES.

La función `mean.fd()` y `sd.fd()`, ayudo a analizar la curva promedio diaria y la desviación estándar funcional de cada una de las estaciones meteorológicas, además identificar su comportamiento en el transcurso del día.

```
# Media funcional
```

```
plot(c(0,25), c(-5,35), xlab="Horas", ylab="Temperatura Ambiental  
(°C)",type='n',main="Media Funcional de las ESTACIONES")
```

```
lines(Estaciones,col="gray93")
```

```

lines(mean.fd(Estaciones),col=red",lwd=2);legend(x =
1,y = 32,legend = c ( "Media funcional"),fill =
c(red"),cex =0.9, text.font = 4, bg = 'white')

# Desviación estándar funcional

plot(c(0, 24),c(0,24),xlab="Horas",ylab="Temperatura Ambiental
(°C)",type='n',main="Desviacion Estandar Funcional de las ESTACIONES",ylim = c(3,6))
lines(sd.fd(Estaciones),col=red",lwd=2);

legend("topleft",x = 0.5,y = 4,legend = c ( "Desv. Est. funcional"),fill = c(red"),cex =0.9,
text.font = 4, bg = 'white')

# Covarianza funcional

plot(var.fd(Estaciones),xlab="Horas", ylab="Temperatura Ambiental (°C)",main="Covarianza
funcional de las ESTACIONES")

```

ANEXO H: ANÁLISIS CLÚSTER FUNCIONAL.

```

set.seed(1012)

kmest1 <- kmeans.fd(Estaciones,ncl= 5, metric=metric.lp,dfunc = func.trim.FM,max.iter =
2,par.metric = NULL, par.dfunc =list(trim=0),par.ini = list(method = "sample"),draw = F)

```

ANEXO I: UMBRALES HORARIOS

```

custom_function_superior<-
function(x) if (is.fdata(x)) {

cnames <- colnames(x[["data"]])

upper <- apply(x[["data"]], 2, function(col) quantile(col, probs = 0.975))

x[["data"]] <- matrix(upper, nrow = 1)

if (is.null(cnames))

colnames(x[["data"]]) <- paste(cnames, upper", sep = "_")

x$names$main <- upper"

xnew <- x

}

if (is.data.frame(x))

```

```

xnew <- x[1, , drop = FALSE]

nam <- names(x)

classes <- sapply(x, class)

iclases <- classes%in% c("numeric", "integer", "double")

upper <- colMeans(x[, iclases, drop = FALSE], na.rm = TRUE)
xnew[iclases] <- NA

xnew[iclases] <- upper

names(xnew) <- paste(nam[iclases], "upper", sep =
" _")
rownames(xnew) <- "upper"

} if
(is.matrix(x))

nam <-
colnames(x)

upper <- colMeans(x, na.rm =
TRUE)

xnew <- upper

names(xnew) <- paste(nam, "upper", sep = "_") }

return(xnew)

}

```

ANEXO J: GRADIENTE VERTICAL DE LA TEMPERATURA.

```

gradiente_temperatura <- function(x, y, z, funcion_temperatura,h)

dT_dx <- derivada_parcial(funcion_temperatura, x, 'x',h)

dT_dy <- derivada_parcial(funcion_temperatura, y, 'y',h)

dT_dz <- derivada_parcial(funcion_temperatura, z, 'z',h)

return(c(dT_dx, dT_dy, dT_dz))

```

ANEXO K: AVAL DE INVESTIGACIÓN.



AVAL

EL DIRECTOR DEL GRUPO DE ENERGÍAS ALTERNATIVAS Y AMBIENTE
(GEAA)

DOCTOR CELSO GUILLERMO REGALDE MORENO, SUSCRIBE

AVALA:

Que el señor **Bryan Alexanders Saguay Saguy** CI: 060499805-4, estudiante de la Carrera de Estadística se encuentran desarrollando su trabajo de Integración Curricular como modalidad: **Proyecto de Investigación "Determinación de umbrales horarios de temperatura en la provincia de Chimborazo, mediante metodología estadística con datos funcionales"** aprobado mediante resolución 638.CP.2022 en el GRUPO DE ENERGÍAS ALTERNATIVAS Y AMBIENTE PERTENECIENTE A LA FACULTAD DE CIENCIAS EN LA ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO. Cuya tutora es la Ing. Isabel Escudero, PhD y Miembro del Tribunal la Ing. Johanna Enith Aguilar Reyes, Mgs.

Se extiende el presente documento a solicitud del interesado, para los fines que estime convenientes.

Riobamba, 23 de junio del 2023

Dr. Celso Guillermo Recalde
DIRECTOR GEAA-FAC. CIENCIAS



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
CERTIFICADO DE CUMPLIMIENTO DE LA GUÍA PARA
NORMALIZACIÓN DE TRABAJOS DE FIN DE GRADO

Fecha de entrega: 10/07/2024

INFORMACIÓN DEL AUTOR
Nombres – Apellidos: Bryan Alexanders Saguay Saguy
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Estadística
Título a optar: Ingeniero Estadístico
 Ing. Amalia Isabel Escudero Villa, Mgs. Directora del Trabajo de Integración Curricular  Ing. Tania Paulina Morocho Barrionuevo, Mgs. Asesora del Trabajo de Integración Curricular