

Generación de Superficies de Interpolación de la Variable Temperatura en la Provincia de Chimborazo en Periodo 2010- 2020

Paula Alejandra Abdo Peralta¹

paula.abdo@epoch.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-9383-9168>

ESPOCH

Ecuador

Adriana Catalina Guzman Guaraca

catalin.guzman@epoch.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0003-0473-2041>

ESPOCH

Ecuador

Jenifer Jazmín Nono Inga

nonojenifer@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0008-9607-6128>

ESPOCH

Ecuador

RESUMEN

El objetivo del estudio fue generar superficies de interpolación de la variable temperatura en la provincia de Chimborazo en el periodo 2010-2020. Para la interpolación se trabajó con métodos geoestadísticos recopilando información de tres fuentes de datos, obteniendo información de 30 estaciones meteorológicas de diferentes años. Con su ubicación se descargó los valores de la temperatura en la base de datos TerraClimate, se evaluó la correlación de los valores observados y las estimaciones satelitales (ESat) utilizando los coeficientes de correlación de Pearson y Nash Sutcliffe (NSE), con un buen coeficiente de correlación se rellenó los datos faltantes y se obtuvo más puntos obteniendo un total de 201. El método de interpolación empleado fue Kriging Ordinario (KO) para cada uno de los años. En la evaluación se obtuvieron valores de R de 0,96 y 0,881, demostrando que entre los valores observados y ESat existe una alta correlación, se tuvo que la temperatura aumentando a través de los periodos llegando hasta 24,63 °C en el cantón Cumandá en el periodo 2018-2020, mientras que la temperatura baja fue de (3,25 – 5,39 °C) en el periodo 2010-2013 en los cantones Guano y Riobamba. Los datos de la variable son importantes y la existencia de estaciones meteorológicas, sin embargo, se puede hacer uso de ESat que son proporcionadas por modelos climáticos globales.

Palabras clave: *coeficiente de correlación; análisis exploratorio de datos; validación cruzada; método kriging ordinario; isothermas.*

¹ Autor principal

Correspondencia: paula.abdo@epoch.edu.ec

Generation of Interpolation Surfaces of the Temperature Variable in the Province of Chimborazo in the Period 2010-2020

ABSTRACT

The objective of the study was to generate interpolation surfaces of the temperature variable in the province of Chimborazo in the period 2010-2020. For interpolation, we worked with geostatistical methods, collecting information from three data sources, obtaining information from 30 meteorological stations from different years. With its location, the temperature values were downloaded into the TerraClimate database, the correlation of the observed values and satellite estimates (ESat) was evaluated using the Pearson and Nash Sutcliffe (NSE) correlation coefficients, with a good coefficient of correlation, the missing data were filled in and more points were obtained, obtaining a total of 201. The interpolation method used was Ordinary Kriging (KO) for each of the years. In the evaluation, R values of 0.96 and 0.881 were obtained, demonstrating that there is a high correlation between the observed values and ESat; the temperature increased over the periods, reaching 24.63 °C in the Cumandá canton. in the period 2018-2020, while the low temperature was (3.25 – 5.39 °C) in the period 2010-2013 in the Guano and Riobamba cantons. The variable data is important and the existence of meteorological stations, however, you can use ESat that are provided by global climate models.

Keywords: *correlation coefficients; exploratory data analysis; cross validation; ordinary kriging method; isotherms.*

Artículo recibido 06 septiembre 2023

Aceptado para publicación: 16 octubre 2023

INTRODUCCIÓN

Según (Fernández & Jonhston , 2006) la temperatura ambiente es considerada el principal factor para determinar la adaptación de las especies en diferentes territorios, dado que altera diversas funciones vitales. Además, la temperatura es un indicador de la cantidad de energía que se acumula en el aire, se suele medir en °C, por otra parte, la temperatura también depende de diversos factores (Navarrete , 2017). La temperatura a nivel global ha venido aumentando en el transcurso de los años lo que se tiene previsto mediante las proyecciones climáticas, sugieren que la temperatura aumentará entre 1 y 3,7 °C para finales del siglo (Bárcena et al., 2015), en el caso de Ecuador se alertaron que entre los años 2040 y 2070 existirá un aumento de 2,7 °C en el país andino.

Uno de los problemas que tiene que hacer frente Ecuador es el aumento de la temperatura promedio, lo que ocasiona los escasos del agua a las principales ciudades del país, debido a que su suministro de agua proviene de los glaciares (Buytaert et al., 2017). Ecuador ha sufrido varios cambios en el transcurso del tiempo, esto se debe al cambio climático, lo que se evidencia en las inundaciones que cada vez son más intensas, la erosión de las diferentes playas, así como también la disminución de la biodiversidad en los páramos andinos, el deshielo de los glaciares, la disminución de las actividades y la productividad agrícola, por último, la disminución de los suministros de agua dulce (Toulkeridis et al., 2020).

Por lo antes expresado, se considera importante determinar los valores de temperatura ambiente y su variabilidad espacial. Una alternativa es la generación de superficies de interpolación espacial de datos, considerada como parte de la geoestadística, se basa en el cálculo de valores conocidos con el fin de encontrar los valores desconocidos de una variable

Los modelos de predicción espacial, Distancia Inversa Ponderada (IDW), Redes Irregulares Trianguladas (TIN), Spline, Kriging Ordinario (KO), Kriging Empírico Bayesiano y Cokriging se han utilizado para generar superficies continuas a partir de datos climáticos, provenientes de un número de puntos medidos. Estas metodologías buscan generar superficies climáticas en un área o territorio de interés a partir de la medición de varios puntos (Alzate et al., 2018).

(Andrade & Moreano , 2013) manifiestan que la región Sierra cuenta con un mayor número de estaciones meteorológicas cubriendo el 62,7%, seguido de la región Costa que cuenta con un 30,2% de estaciones meteorológicas, por último, la región Amazónica que tiene poca disponibilidad de estaciones

meteorológicas aproximándose a un 7,1% a nivel nacional. En la provincia de Chimborazo el Grupo de Energías Alternativas y Ambiente (GEAA) tiene 11 estaciones meteorológicas implementadas, las cuales se encuentran al norte de la provincia y no están distribuidas uniformemente. La facultad de Recursos Naturales (FRN) de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH) cuenta con una estación agrometeorológica que proporciona información sobre la temperatura. El Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) tiene bajo su responsabilidad 24 estaciones meteorológicas en la provincia (hasta el año 2016), sin embargo, no todas generan datos o información de la variable temperatura.

Una alternativa a la baja disponibilidad de mediciones de temperatura por estaciones meteorológicas es el uso combinado con estimaciones satelitales (ESat) provenientes de modelos espaciales. Una vez conformada la serie de temperatura promedio anual correspondiente al periodo 2010-2020, se plantea generar isotermas para determinar la variabilidad espacial en la provincia de Chimborazo.

El propósito de este trabajo fue la recopilación de información de la variable temperatura y la aplicación de métodos de interpolación espacial para generar superficies de interpolación de la variable climática de estudio (Isotermas), haciendo uso de métodos geoestadísticos. De esta forma se especializa la variabilidad de la temperatura en la provincia de Chimborazo en el transcurso del tiempo. La importancia de este trabajo se basa en la obtención de datos e información de la variable temperatura, a través, de diferentes fuentes de información para la generación de superficies de interpolación con mayor resolución y precisión, con el cual se podría generar información para aquellas áreas en las que no se dispone con estaciones meteorológicas, y así mejorar el conocimiento sobre el tema y los cambios de temperatura que se han dado en dicho territorio.

METODOLOGÍA

Enfoque de la investigación

El presente trabajo de investigación se centró en un enfoque cuantitativo, se recopiló datos de la variable en estudio del periodo 2010-2020, la evaluación de la correlación entre datos observados y estimaciones satelitales, la generación de superficies de interpolación se validó y analizo las superficies interpolación.

El enfoque cuantitativo se utilizó para la recolección de datos en base a mediciones numéricas y análisis estadísticos, esto tuvo como fin establecer pautas de comportamiento y probar teorías .

Tipo de investigación

El trabajo de investigación tiene un alcance descriptivo, que se ve reflejado en la descripción del comportamiento de la variable de estudio, además de un alcance estimativo, ya que se realizó una estimación de valores en sitios no muestreados mediante la utilización de métodos de interpolación. El trabajo de investigación es de tipo documental ya que se obtuvo la información necesaria a través de la recopilación de datos de fuentes secundarias como son documentos y bibliografías.

Diseño de investigación

El diseño de investigación tuvo un método cuantitativo, dado que la información estuvo direccionado a la variable temperatura de la provincia de Chimborazo, donde se enfocó en el análisis estadístico de datos existentes que se obtuvieron principalmente GEE, los anuarios meteorológicos del INAMHI, la estación agrometeorológica y el GEAA, se realizó la descarga de datos de la temperatura del periodo 2010-2020 para realizar el procesamiento de las bases de datos obtenidos, los resultados se presentaron en mapas geoestadísticos con superficies de interpolación.

Técnicas e instrumentos de investigación empleados

Para la investigación debido a que es de tipo documental se hizo usos de diferentes programas como se detalla a continuación, además es una investigación no experimental por lo cual no se usaron materiales físicos. En la siguiente lista se pueden observar programas que se utilizaron para la investigación: Software ArcGis, Software QGis, Microsoft Excel -Word, Google Earth Engine.

METODOLOGÍA APLICADA

Conformación de base de datos

Para la evaluación de la correlación fue necesario la conformación de la base de datos de tres fuentes siendo el GEAA, los anuarios del INAMHI y la estación agrometeorológica de la ESPOCH.

Se trabajo con 9 estaciones meteorológicas del GEAA situadas en diferentes cantones de la provincia principalmente al norte de estas, los cuales contaron con información de diferentes años dentro del periodo de estudio. Mientras que de los anuarios meteorológicos se trabajó con 5 estaciones meteorológicas dentro de la provincia de Chimborazo del periodo 2010-2013, además de 15 estaciones meteorológicas que estuvieron cercanas a la provincia de estudio que contaron con más información, obteniendo la coordenada respectiva de cada uno de los puntos. De la estación agrometeorológica se

solicitó la información de la estación meteorológica ubicada en la ESPOCH que tuvo información de todo el periodo de estudio (2010-2020).

Con las coordenadas de las 30 estaciones meteorológicas dentro y fuera de la provincia se utilizó el modelo climático global Google Earth Engine de la base de datos TerraClimate se extrajo los valores de las coordenadas obtenidas mediante con el software ArcGis con la herramienta *Extract multi Values to Points*.

GEE es una plataforma gratuita que tiene fines de investigación en el cual se procesa y analiza un gran número de imágenes satelitales y diferentes conjuntos de datos geoespaciales, contiene un total de 600 conjuntos de datos provenientes de fuentes diferentes, pueden ser dispositivos u organizaciones (Crego et al., 2022). Parte de los productos de GEE es la base de datos TerraClimate, proporciona una serie de datos tanto climáticos mensuales y de balance hídrico en diferentes superficies terrestres globales que tiene información desde 1958 a la actualidad (Abatzoglou et al., 2018).

Evaluación estadística de los valores observados y estimaciones satelitales

Coefficiente de correlación de Pearson y Nash Sutcliffe

Para la evaluación de la correlación se hizo una comparación entre los datos observados obtenidos de las estaciones meteorológicas y las estimaciones satelitales de la base de datos TerraClimate, en el caso del coeficiente de Pearson se tomo en cuenta los siguientes rangos de confiabilidad.

Tabla 1

Escala de correlación de Pearson

Coefficiente de correlación	Interpretación
0,91 – 1	Correlación perfecta
0,76 – 0,90	Correlación muy fuerte
0,51 - 0,75	Correlación considerable
0,11 – 0,50	Correlación media
0,01 – 0,10	Correlación débil
0	No existe correlación alguna entre las variables

Mientras que en el coeficiente de NSE se tomó en cuenta los siguientes criterios de evaluación:

- NSE = 1, indica una coincidencia perfecta del modelo con los datos observados.
- NSE = 0, indica que la predicción realizada del modelo es tan precisa como la media de los datos observados.

- NSE menor a 0, indica que las medias observadas es un mejor predictor que el modelo.
- NSE cercano a 1, indica que el modelo tiene habilidades predictivas.

Con la evaluación de la correlación si se obtiene un r superior a 0,5 es considerable por ende se procede a completar los datos faltantes de las estaciones meteorológicas con estimaciones satelitales, además que se escogió más puntos mediante el muestreo aleatorio estratificado completando la base de datos de todas las estaciones con información de cada uno de los años de estudio.

Generación de superficies de interpolación

Análisis exploratorio de datos

El análisis exploratorio del conjunto de datos por año de estudio se realizó con el fin de determinar cómo se distribuyen nuestro conjunto de datos. Las herramientas para el análisis exploratorio de los datos que se utilizaron fueron los histogramas y el gráfico de normalidad QQ plot.

Los criterios de evaluación del histograma para determinar su tipo de distribución se toman en cuenta lo siguiente: la media y mediana deben ser similares esto quiere decir que debe tener una unidad de diferencia entre ambos valores, la desviación estándar debe estar próxima a 0, la curtosis debe estar cerca de 3, el sesgo debe ser cercano a 0.

En el gráfico de normalidad QQ plot se determina la distribución de los datos cuando los puntos se encuentran sobre la línea que se encuentra a 45° con una tendencia de línea recta.

Método de interpolación

Se trabajo con el método KO debido a que mejor modelo para variable climáticas, ya que las isotermas resultantes son mejor representadas por el método KO, otro punto importante fue que se logra un mejor resultado en el error y con superficies suavizadas según lo menciona (Cardenas , 2016), (Andrade & Moreano , 2013).

Validación de la superficie

Para determinar si la superficie generada mediante el método KO es válida, se lo realizó mediante la validación cruzada que se generó como último paso de la interpolación, el cual nos proporcionó información de los puntos muestreados o valores reales, así como también los valores predichos que se generó por el modelo, para su validación se toma en cuenta los siguientes criterios: Para la obtención de resultados de interpolación confiables, el error medio (ME) y el error medio estandarizado (MSE) deben

estar cerca de 0, mientras que la raíz medio cuadrático (RMSE) debe ser lo más pequeño posible y estar cercano al error estándar promedio (ASE); los valores óptimos RMSSE deben estar cerca de 1 (Castillo, 2022). Con estos criterios se evaluó la viabilidad de la predicción y la superficie de interpolación que se generó

Análisis espacio – temporal de las superficies de interpolación

Para su análisis se tomó en cuenta los mapas temáticos resultantes obtenidos de la interpolación del periodo de estudio 2010-2020. Con la ayuda de la herramienta de calculadora ráster se unió los tres primeros mapas y así sucesivamente con el fin de obtener cuatro mapas temáticos. Los periodos que se agruparon fueron 2010-2013, 2014-2017 y 2018-2020, además se realizó un mapa de todo el periodo de estudio 2010-2020 y en función de los resultados que se obtuvieron se procedió a su debido análisis espacio temporal y se determinó los cambios que se han dado al pasar el tiempo. Además, se realizó una categorización del mapa, teniendo como principal función la clasificación de la temperatura en tres rangos:

Tabla 2

Criterios de clasificación de la temperatura

Criterio	Rango
Temperatura cálida	20 a 25 °C
Temperatura templada	10 a 20 °C
Temperatura fría	0 a 10 °C

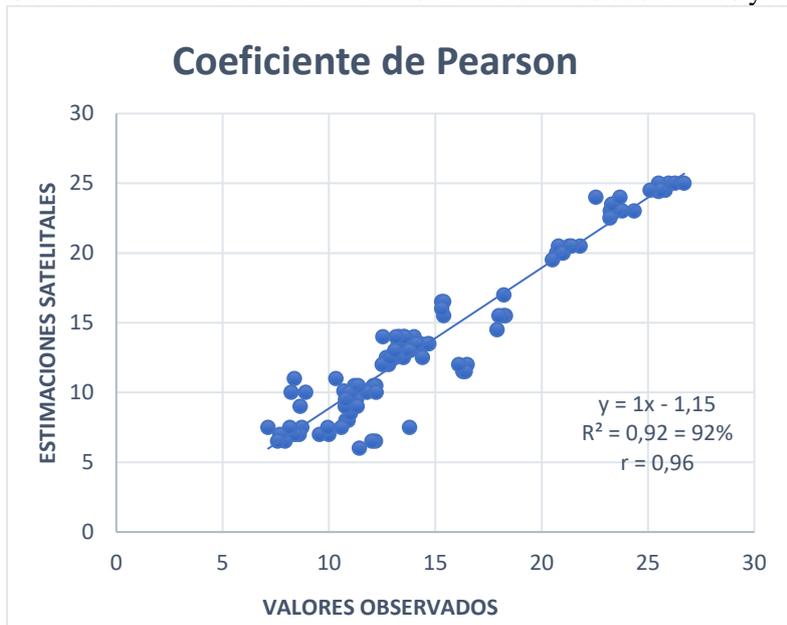
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evaluación estadística de los valores observados vs estimaciones satelitales

Para la evaluación estadística se realizó la representación entre los valores observados y estimaciones satelitales. Por tanto, se obtuvo como resultado la correlación de Pearson con un valor de $r = 0,96$, de acuerdo con la escala establecida es perfecta, esto quiere decir que las estimaciones satelitales explican en un 92% a los valores observados, los puntos de la recta fueron creciente por tanto la correlación es positiva y directa.

Figura 1

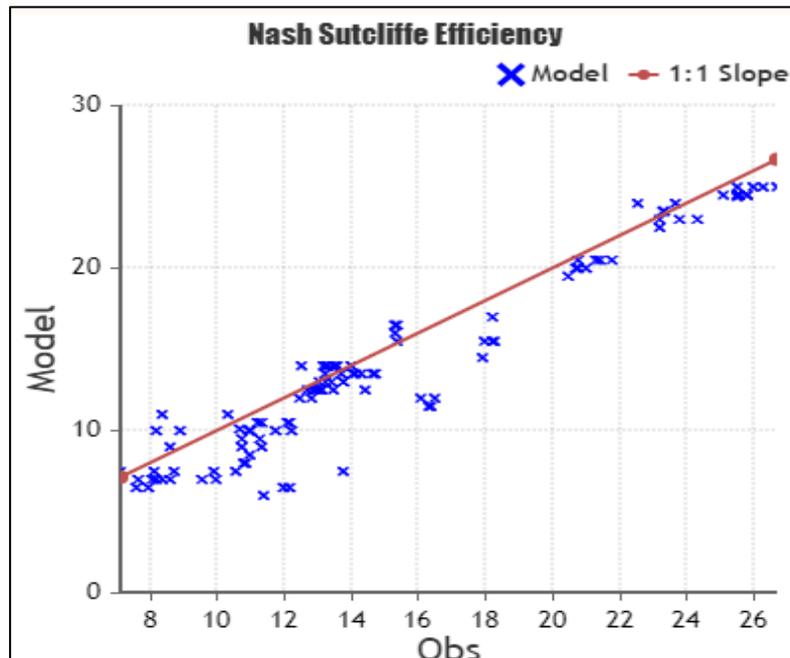
Coefficiente de correlación de Pearson de los datos observados y satelitales



El coeficiente de eficiencia de NSE fue de 0,88 el cual es un valor cercano a uno, indicando que es un modelo predictivo adecuado, confirmando que la correlación es buena y se puede completar la información con las estimaciones satelitales, en figura 2 se observa el gráfico de eficiencia NSE.

Figura 2

Coefficiente de eficiencia de Nash Sutcliffe



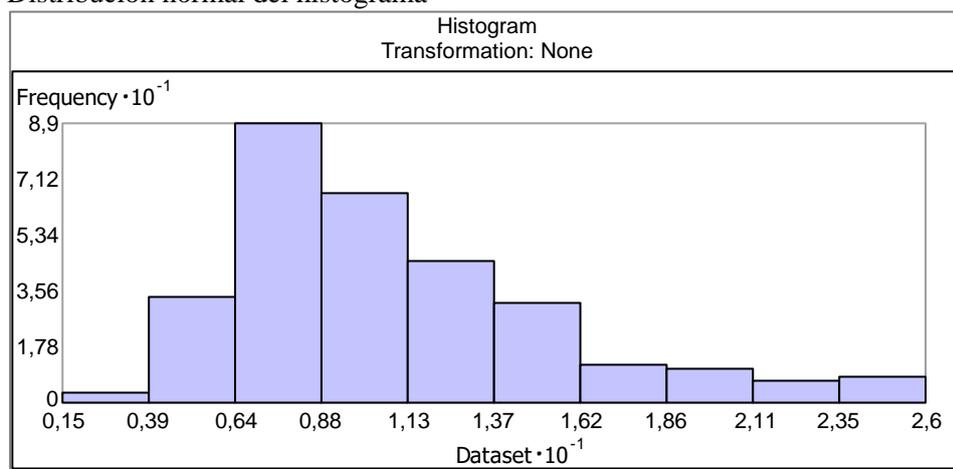
Generación de superficies de interpolación

Análisis exploratorio de los datos

Se obtuvo como resultado el histograma de frecuencia de cada uno de los años de estudio de la variable temperatura. Se pudo observar que los histogramas tuvieron una ligera distribución normal, además no presentó ningún tipo de transformación, gracias al cumplimiento de la mayoría de los parámetros establecidos por (Redrován , 2018) y (Caguana, 2017).

Figura 3

Distribución normal del histograma



El resumen estadístico de los histogramas anuales (Tabla 3), dio como resultado que la media y mediana tiene una diferencia mínima, los valores de sesgo estuvieron relativamente adecuados, el coeficiente de curtosis obtuvo valores cercanos y superiores a 3, de acuerdo con los criterios establecidos se tuvo una ligera distribución normal de los datos.

Tabla 3

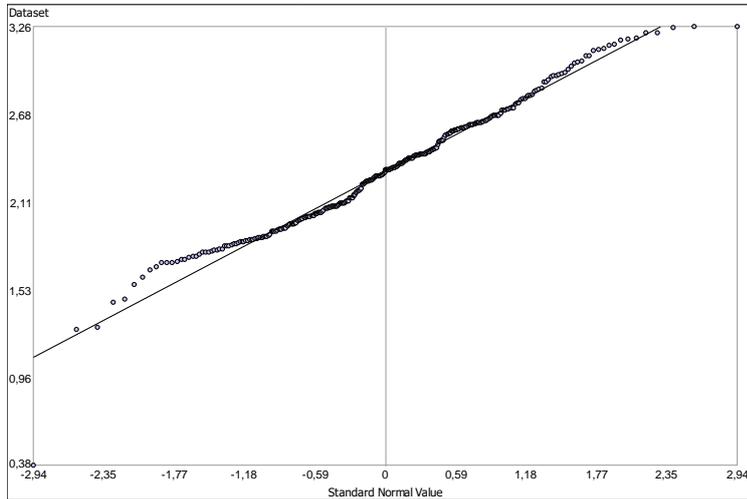
Resúmenes estadísticos de los histogramas anuales

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Media	10,61	10,52	10,06	10,66	10,84	11,43	11,40	10,28	10,56	11,50	11,35
Mediana	10	10	9	10	10	11	10,5	9,5	10	11	10,5
Std. Dev	5,16	5,16	5,14	5,17	5,10	5,14	5,07	5,08	5,13	5,08	5,05
Kurtosis	3,02	3,04	3,19	3,34	3,15	3,40	3,40	3,40	3,04	3,14	3,24
Sesgo	0,23	0,29	0,04	0,89	0,19	0,90	0,90	0,90	0,29	0,08	0,90

Los gráficos de normalidad (QQ plot) de la variable temperatura de cada uno de los años de estudio dentro del periodo 2010-2020 de la provincia de Chimborazo, indicó que se tuvo una ligera distribución

normal de los datos, esto se evidencia en la mayoría de los puntos que se encuentran alineados a la recta gris mostrando que existe una distribución normal, lo que se puede contrastar con los histogramas mencionados anteriormente.

Figura 4
Distribución normal del gráfico de normalidad



Validación de superficies

Se obtuvo las predicciones de error para cada uno de los años (Tabla 2), donde se evaluó los criterios de la validación que se obtuvieron por medio de la interpolación, reflejando un modelo aceptable, donde los valores del error medio (ME) y el error medio estandarizado (MSE) fueron cercanos a cero, la raíz del error cuadrático medio estandarizado (RMSSE) tuvieron valores cercanos a 1, el error medio cuadrático (RMSE) fue lo más pequeño posible y estuvo cercano al error estándar promedio (ASE), cumpliendo con los criterios establecidos por (Castillo, 2022), mostrando que el modelo aplicado fue adecuado y correcto cumpliendo con dicho criterio.

Tabla 4
Errores de predicción de validación cruzada obtenidos por el modelo KO

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
ME	0,04	0,03	0,01	0,04	-0,01	-0,02	-0,04	-0,01	-0,04	-0,05	-0,01
RMSE	2,12	2,10	2,17	2,16	2,12	2,05	2,08	2,12	2,07	2,11	2,07
MSE	0,01	0,01	0,01	0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01
RMSSE	0,75	0,74	0,75	0,77	0,77	0,74	0,75	0,77	0,76	0,78	0,76
ASE	2,65	2,66	2,71	2,64	2,56	2,55	2,56	2,57	2,53	2,53	2,51

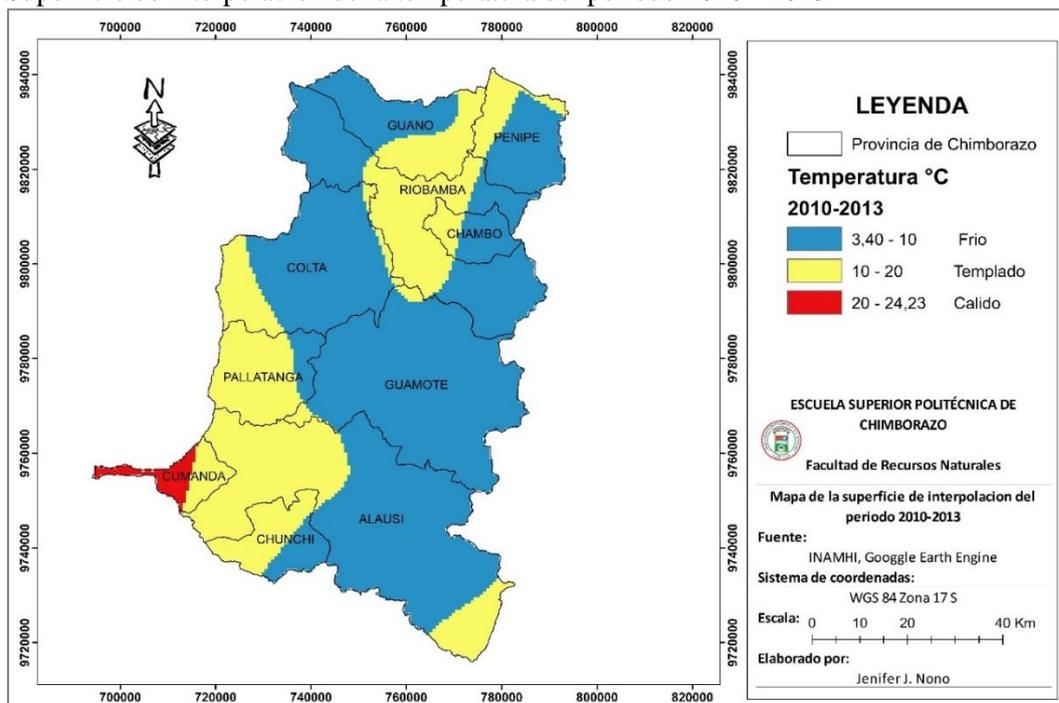
Análisis espacio - temporal de las superficies de interpolación (Isotermas)

Análisis espacial

En el periodo 2010 – 2013 (véase la Figura 5), la temperatura más baja fue de 3,40 °C y se encontró cubriendo la mayor parte de la provincia de Chimborazo. El aumento y el cambio de la temperatura se dio hacia el suroeste a medida que se acerca al cantón Cumandá y las zonas de transición entre la región Sierra y Costa, la temperatura más alta fue de 24,22 °C. En la zona centro del cantón Riobamba siendo parte del norte de la provincia, el cual tuvo una temperatura de 10 - 20 °C siendo una temperatura templada. La temperatura promedio del periodo fue de 10,46 °C.

Figura 5

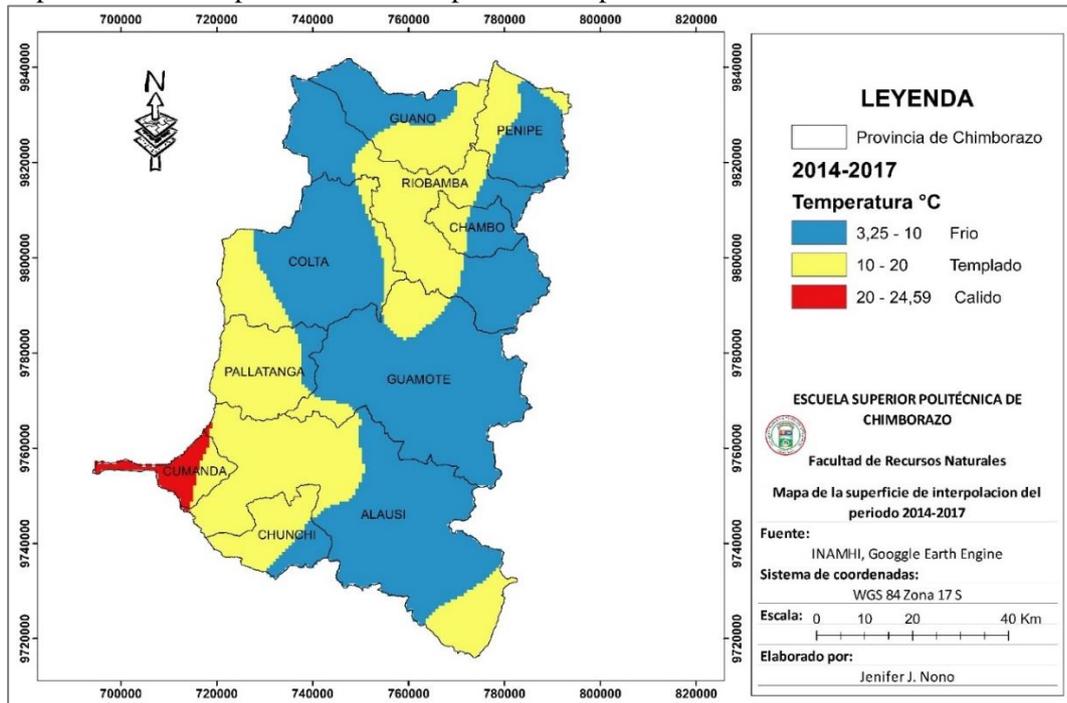
Superficie de interpolación de la temperatura del periodo 2010 - 2013



Para el periodo 2014 – 2017 se obtuvo una temperatura promedio de 10,99 °C, además la temperatura más baja fue de 3,25 °C, concentrándose en el norte y este de la provincia, mientras que la temperatura más alta fue de 24,59 °C encontrándose en el cantón Cumandá, en este periodo la temperatura fue aumentando hacia el suroeste, influenciando principalmente a los cantones Cumandá, Pallatanga, Chunchi y cierta parte de Alausí. Por otra parte, también hubo un aumento de la temperatura hacia el noreste de la provincia de estudio como se muestra en la Figura 7, teniendo como epicentro el cantón Riobamba con un rango de temperatura de 10 - 20 °C y expandiéndose hacia diferentes cantones a su alrededor.

Figura 6

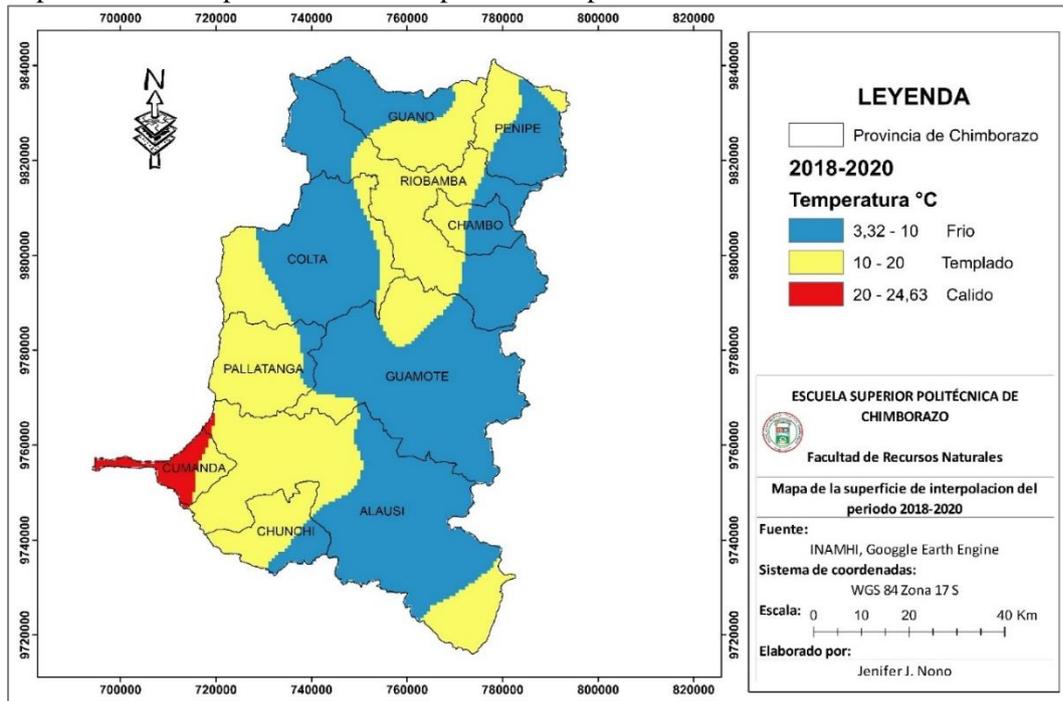
Superficies de interpolación de la temperatura del periodo 2014 – 2017



En la Figura 7, del periodo de estudio (2018 – 2020) se obtuvo un promedio de la temperatura de 11,14 °C, además, que la temperatura baja estuvo entre 3,32 °C en el norte de la provincia de Chimborazo. También hubo un aumento de la temperatura hacia el suroeste de la provincia en los cantones Pallatanga, Chunchi y Alausí a medida que se acercaban al cantón Cumandá con la temperatura más alta de 24,63 °C. En el centro de Riobamba hubo un aumento notable de la temperatura en el rango de 10 - 20 °C, siendo el punto de partida para un aumento de la temperatura hacia el norte extendiéndose hacia otros cantones como son Penipe, Guano y Chambo.

Figura 7

Superficie de interpolación de la temperatura del periodo 2018 - 2020



Análisis temporal

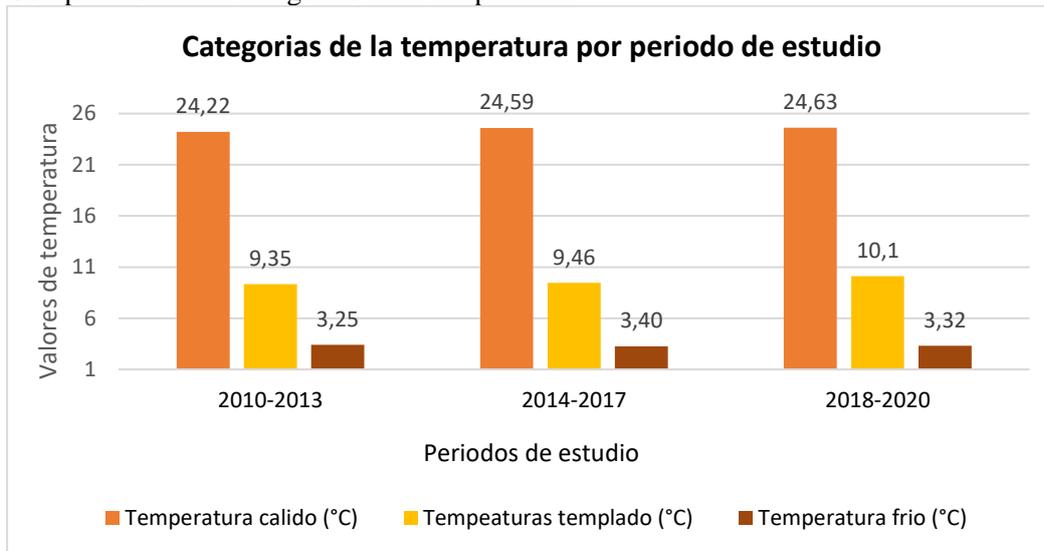
De acuerdo con la tabla 5, se obtuvo que la temperatura más fría (3,25 °C) fue en el periodo 2010-2013, mientras que el periodo más caluroso (24,63 °C) fue en el periodo 2018-2020, las temperaturas altas fueron aumentando entre los periodos, por el contrario de la temperatura baja.

Tabla 5: Comparación entre la temperatura de los periodos de estudio

	PERIODOS		
	2010-2013	2014-2017	2018-2020
T calid (°C)	24,22	24,59	24,63
T templado (°C)	9,35	9,46	10,1
T frio (°C)	3,25	3,40	3,32
Cálido = 20 - 24			
Templado = 10 - 20			
Frío = 0 - 10			

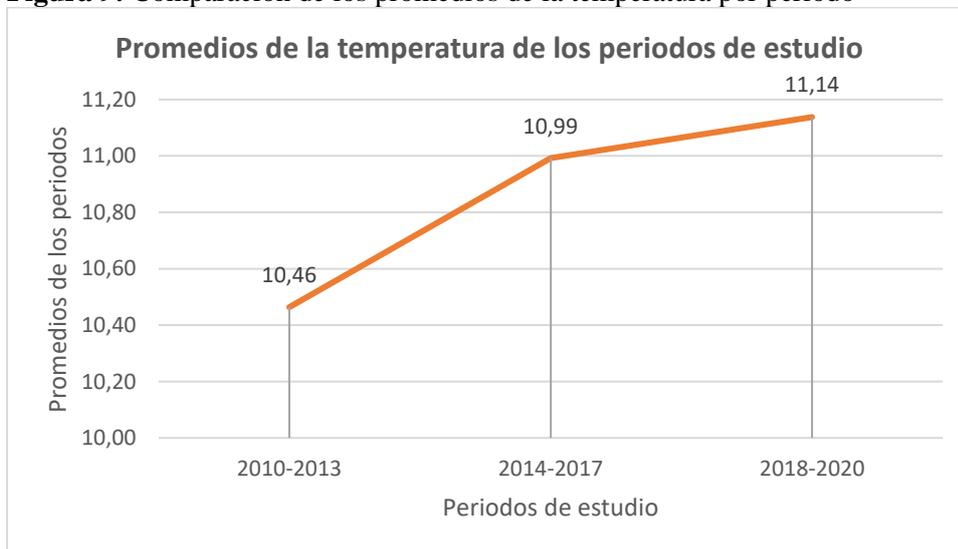
Como se muestra en la Figura 8, donde se observó que la temperatura cálida (24,63 °C) estuvo presente en el periodo 2018-2020, mientras que la temperatura fría (3, 25 °C) fue en el periodo 2010-2013, las temperaturas templadas se mantuvieron constantes de acuerdo con la escala establecida en la tabla 3.

Figura 8
Comparación entre categorías de la temperatura



Se encontró que la temperatura promedio del periodo 2010-2020 fue de 10,86 °C, con respecto a los demás periodos, la menor diferencia lo presento el periodo 2010-2013 (periodo más frío), la mayor diferencia se encontró en el periodo 2018-2020 (periodo más caluroso).

Figura 9: Comparación de los promedios de la temperatura por periodo



DISCUSIONES

Los resultados obtenidos del coeficiente de correlación de Pearson fueron de un R de 0,96 y de eficiencia de NSE se obtuvo un valor de 0,88 siendo valores cercanos a la unidad, como mencionan algunos autores (Trujillo, 2012); (Rosales, 2011); (Abad, 2014); (López et al., 2017); (Orellana, 2020) para tener una

correlación alta se debe tener valores entre 0,5 a 0,9 mostrando que las estimaciones satelitales son similares o no difieren mucho de los valores observados. Los resultados del coeficiente de determinación (R^2) obtenido en la correlación de Pearson fue de 0,92 (92%) siendo un valor que se encuentra por encima de lo indicado por Creswell, 2005 siendo de 0,85 mostrando que tanto los valores observados y estimaciones satelitales miden casi el mismo concepto.

Los resultados obtenidos en el análisis exploratorio de los datos tuvieron una ligera distribución normal tanto en el histograma como en el gráfico de normalidad QQ Plot, esto fue necesario por lo que mencionan algunos autores (Mantilla , 2016) donde mencionan la necesidad de la normalidad de los datos para el uso del método KO.

Para que en el análisis exploratorio de los datos y verificar su distribución se debe tener en cuenta los estadísticos del histograma (véase la Tabla 3) donde se cumple con los criterios mencionados por varios autores (Redrován , 2018); (Caguana, 2017), donde se basan en el análisis del sesgo el cual debe ser próximo a 0, la desviación estándar debe ser lo menor posible, la curtosis se debe aproximar a 3 y media y mediana ser similares entre sí.

Se hizo uso del método geoestadístico Kriging Ordinario debido a que como lo mencionan (Caguana, 2017); (Checa, 2020); (Cardenas , 2016); (Silva, 2019); (Andrade & Moreano , 2013) es un modelo completo y adecuado, se ajusta mejor para la interpolación de variables climáticas, determina el valor de la temperatura en zonas aisladas, mejor representación de las isotermas, es necesario un gran número de puntos de muestreo para el uso del mismo, por otra parte se menciona que el modelo genera estimados con menor error en relación con otros métodos.

Los resultados obtenidos de la validación de la superficie interpolada reflejaron un modelo aceptable, por ende, se validó la superficies interpoladas, además que cumplió con la mayoría de los criterios establecidos por (Castillo, 2022) y (Caguana, 2017) en el periodo de estudio el error medio y el error medio estándar tuvieron valores muy cercanos y próximos a 0, la raíz del error medio cuadrático estandarizado tuvieron valores cercano a 1, el error medio cuadrático y el error estándar promedio deben ser lo más cercanos posible obteniendo valores cercano como se muestra en la Tabla 4 de la configuración de los errores de predicción de la validación cruzada para el modelo KO.

En el periodo 2010 – 2013, la temperatura varía entre 3,40 a 24,22 °C, además en la ilustración 30-4 se encontró similitudes con las isotermas presentados por el (INAMHI, 2012), donde la temperatura tiende a aumentar hacia el suroeste de la provincia y en los límites entre la región Amazónica, por ende, se puede confiar en las estimaciones satelitales obtenidos que se usaron para la combinación con datos.

En el periodo 2010 - 2013 la temperatura se encontró desde 3,40 a 24,22 °C, lo que se pudo ver en este periodo la temperatura baja es superior al periodo 2014 – 2017, mientras que la temperatura alta aumentó en el periodo mencionado anteriormente. Para los años 2014 - 2017 se obtuvo temperaturas desde 3,25 a 24,59 °C, se contrastó con (INAMHI, 2016) donde mencionan que el año 2015 fue muy cálido. Además, el (MAATE, 2021) en sus mapas de temperatura indicaron que el aumento de esta tiende a dirigirse hacia el suroeste de la provincia.

(GADM del cantón Cumandá, 2014) menciona que una gran parte del territorio tiene un clima tropical por eso tiende a tener temperaturas altas, contrastando con el mapa del periodo 2014 – 2017, donde la temperatura tiende a aumentar hacia el suroeste de la provincia, además el cantón cuenta con temperaturas entre 18 a 26 °C se puede ver que tiene similitudes con la isoterma del cantón y los mapas realizados de este periodo.

En el estudio realizado por (Checa, 2020) evaluó la variación de la temperatura de los años 2014 a 2017, donde obtuvo que el cantón Cumandá tuvo las temperaturas más altas, específicamente en la estación meteorológica Cumandá recalcan los resultados obtenidos fueron adecuados y correctos debido a su similitud con los resultados obtenidos.

(GADM del cantón Chunchi, 2019), en el plan de ordenamiento y desarrollo territorial 2019 – 2023 menciona que en el cantón Chunchi Cuenta con temperaturas que alcanzan hasta 19 °C, lo que se contrastó con el mapa de isotermas del periodo 2018-2020, donde la temperatura máxima del cantón es de 18,24 °C.

En los años 2018 - 2020 los valores de la temperatura fueron de 3,32 a 24,63 °C donde las temperaturas más altas se encontraron hacia el suroeste siendo el cantón Cumandá. Además, en el periodo mencionado anteriormente se puede observar que los valores de la temperatura aumentaron en comparación con los periodos anteriores, mostrando un aumento continuo de la temperatura en el transcurso de los años.

Los resultados obtenidos del periodo de estudio 2010-2020 se pudo observar que no hubo un mayor aumento de temperatura en el transcurso de los años estudiados, además, la temperatura más alta fue de 26 °C, mientras que la más baja fue de 3,12 °C, es importante destacar que las zonas más cálidas fueron hacia el suroeste de la provincia específicamente en el cantón Cumandá.

CONCLUSIONES

Los datos de la variable temperatura son importantes para determinar el valor de la misma en un sitio determinado y poder conocer sus cambios ya sean en aumento o disminución de la misma en diferentes periodos de estudio, además que son fundamentales para la generación de superficies de interpolación y obtener valores de la temperatura en lugares donde no conoce información, por lo que es necesario que existan un mayor número de estaciones, sin embargo, la disponibilidad y la calidad de esta información en regiones donde no existen es cuestionable, por lo tanto, es necesario el uso de estimaciones satelitales proporcionados por modelos climáticos globales los cuales tienen información de diferentes variables climáticas de toda la superficie terrestres, las estimaciones satelitales obtenidas de estos modelos tienden a tener una buena precisión y correlación con valores observados en estaciones meteorológicas.

La evaluación de la correlación realizada a los valores observados y estimaciones satelitales fueron satisfactorios, los dos modelos no difieren a gran medida por ende se pudo combinar estos dos tipos de datos, sin embargo, se tuvo en cuenta que los valores observados en las estaciones meteorológicas no pueden ser reemplazados por las estimaciones satelitales esto se debe a que son valores reales, pero sí se pudo combinar en las series incompletas.

El método KO genera superficies de interpolación mediante valores que se encuentran dispersos, donde se tuvo en cuenta la relación existente entre el conjunto de datos, proporcionando valores certeros y precisión en las predicciones. Es un modelo que permitió estimar valores de la temperatura en lugares donde no se cuenta con un punto de muestreo, mediante los valores observados en las estaciones meteorológicas. KO se ajusta mejor a interpolar variables climáticas, proporcionando un menor error y superficies suavizadas dando una mejor representación de las isotermas.

Se empleó los datos de temperatura del periodo 2010 - 2020 de treinta estaciones meteorológicas ubicadas dentro y fuera de la provincia de Chimborazo, mediante el muestreo aleatorio estratificado se

escogió 171 adicionales, reuniendo un total de 201 puntos. Los datos obtenidos fueron suficientes para realizar la interpolación mediante el método KO. Se evidenció que hubo un incremento considerable de la temperatura en el transcurso de los años hacia el suroeste de la provincia de Chimborazo, aumentando en los cantones cercanos a Cumandá, además en la parte centro del norte de la provincia hubo un aumento considerable de la temperatura, expandiéndose hacia los demás cantones. Se encontró que la temperatura más baja estuvo en el periodo 2010-2013 y la temperatura más alta en el periodo 2018-2020.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abad, I. (2014). *Estimación de precipitación espacial mediante correlación con variables secundarias y la ayuda de tecnologías de información geográfica*. Universidad de Cuenca.
- Abatzoglou, J., Dobrowki, S., Parks, S., & Hegewisch, K. (2018). TerraClimate, un conjunto de datos globales de alta resolución sobre el clima mensual y el balance hídrico climático de 1958 a 2022. *Scientific Data*.
- Alzate, D., Araujo, G., Rojas, E., Gómez, D., & Martínez, F. (2018). Interpolación regnie para lluvia y temperatura en las regiones andinas, caribe y pacifico de Colombia. *Colombia Foresra*, 21(1), 102 - 118.
- Andrade, L., & Moreano, R. (2013). Sistemas de información para la interpolación de datos de la temperatura y de precipitación del Ecuador. *Revista Politécnica*, 32, 70 - 75.
- Bárcena, C., Prado, A., Samaniego, J., & Pérez, R. (2015). La economía del cambio climático en América Latina y el Caribe. Paradoja y desafíos del desarrollo sostenible. *Libro de la CEPAL*. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/37310/S1420656_es.pdf
- Buytaert, W., Moulds, S., Acosta, L., De Bievre, B., Olmos, C., Villacis, M., . . . Verbist, K. (2017). Glacial melt content of water use in the tropical Andes. *Environmental Research Letters*, XII(11), 2-8.
- Caguana, S. (2017). *Utilización de herramientas geoestadísticas para la generación de información espacial meteorológica en la provincia de Azuay*. Universidad de Cuenca.
- Cardenas, J. (2016). *Análisis geoestadístico del comportamiento de la temperatura en la ciudad de Bogotá desde el año 1981 al 2010*. Universidad Libre.

- Castillo, B. (2022). Aplicación de métodos geoestadísticos en el modelado espacio temporal de los niveles de agua subterránea del acuífero Valle de Sébaco, Nicaragua. *Tropical Journal of in environmentak Sciences*, 56(2), 196 - 212.
- Checa, M. (2020). *Análisis geoestadístico de datos funcionales de temperatura del aire en la provincia de Chimborazo*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Crego, R., Stabach, J., & Connectte, G. (2022). Implementation of species distribution models in Google Earth Engine. *Diversity and Distribution Wiley*, 28(5), 904-916.
- Fernández, G., & Jonhston, M. (2006). Crecimiento y Temperatura. *La serena*, 1.
- GADM del cantón Chunchi. (2019). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial del canton Chunchi 2019 - 2023*. Gad municipal del cantón Chunchi.
- GADM del cantón Cumandá. (2014). *Actualización de plan de desarrollo y ordenamiento territorial del cantón Cumandá 2014 - 2019*. Gad Municipal del cantón Cumandá.
- Hernández, R., Fernández, C., & Batista, L. (2014). Metodología de la invetsigación . *McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A DE C.V.*
- INAMHI. (2012). *Anuario meteorológico 2010*. Dirección de Gestión Meteorológica.
- INAMHI. (2016). *Boletín climatológico anual 2015*.
- López, J., Díaz, T., Watts, C., Rodríguez, J., Velásquez, T., & Partida, L. (2017). Uso de datos satelitales MODIS y balanceo de energía para estimar la evapotranspiración. *Revista Mexicana de ciencias Agrícolas*, 8(4), 773 - 784.
- MAATE. (2021). *Mapas de temperatura provincia de Chimborazo*. Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica.
- Mantilla, G. (2016). *Comparación de metodologías estadísticas para interpolar la precipitación en el Ecuador*. Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Navarrete, E. (2017). *Apuntes de geografía física y ambiental*. Escuela Superior Politécnica del Litoral:
https://www.researchgate.net/publication/321159458_APUNTES_DE_GEOGRAFIA_FISICA_Y_AMBIENTAL
- Orellana, M. (2020). *Estimación de la temperatura mensual del aire usando imágenes satelitales en una zona de topografía muy variable en los Andes del sur de Ecuador*. Universidad Nacional de

Colombia.

- Redrován , K. (2018). *Aplicación de sistemas de información geográfica para el análisis espacial de la variable solar de la ciudad de Cuenca*. Universidad Politécnica Salesiana.
- Rosales, E. (2011). *Análisis de métodos alternativos para obtener información de temperatura del aire y estimar evapotranspiración usando imágenes satelitales* . Centro de investigación en geografía y geomática.
- Silva, M. (2019). Evaluación geoestadística y krigeado de la temperatura del aire en los llanos venezolanos. *Revista de Climatología*, 19, 44 - 47.
- Toulkeridis, T., Tamayo, E., Simón , D., Merizalde, M., Reyes, D., Viera, M., & Heredia , M. (2020). Cambio climático según los académicos ecuatorianos - percepciones versus hechos . *La granja: Revista de ciencias de la vida*, 31(1).
- Trujillo, S. (2012). *Estimación de temperatura superficial en el valle de aburra mediante técnica de percepción remota*. Escuela de Ingeniería de Antioquia.