



**Universidad del Azuay**

**Facultad de Ciencias de la Administración**

**Escuela de Ingeniería en Sistemas y Telemática**

**DETERMINACIÓN DE ESTACIONALIDAD EN  
FUNCIÓN DE LOS DATOS METEOROLÓGICOS  
EN LA CIUDAD DE CUENCA.**

**Trabajo de Titulación previo a la obtención del  
grado en Ingeniero en Sistemas y Telemática**

**Autor:**

José David Burbano Pesántez.

**Director:**

Chester Andrew Sellers Walden.

**Cuenca – Ecuador**

**2023**

## **DEDICATORIA**

Quiero dedicar mi trabajo de titulación a mis padres por ser el sustento de la familia, por otorgarme la posibilidad de cumplir mis sueños con la formación académica en la carrera que anhelaba estudiar.

## **AGRADECIMIENTO**

Mi gratitud por siempre a la Universidad del Azuay que me formó para mi carrera profesional y me ayudó a fortalecer mis valores para mi vida personal.

Un agradecimiento sincero, también a mis compañeros de carrera, con quiénes además de compartir conocimiento, pude crear lazos de amistad, que seguramente, perdurarán a lo largo de nuestras vidas.

## Índice de Contenidos

DEDICATORIA.....	I
AGRADECIMIENTO.....	II
Índice de Contenidos .....	III
Índice de Figuras .....	IV
Índice de Tablas .....	V
Índice de Anexos.....	VI
RESUMEN.....	VIII
ABSTRACT .....	VIII
1. Introducción.....	1
1.1    Objetivos .....	1
1.2    Marco teórico .....	2
2. Revisión de literatura.....	18
3. Métodos .....	23
4. Resultados .....	26
5. Discusión.....	39
6. Conclusión.....	39
7. Referencias .....	1
8. Anexos.....	5

## Índice de Figuras

Figura 1 <i>Las 4 fases de la Metodología GQM.</i> .....	23
Figura 2 <i>Metodología GQM.</i> .....	24
Figura 3. <i>Resumen gráfico y numérico de los datos.</i> .....	27
Figura 4. <i>Gráfico de análisis de normalidad de la precipitación y temperatura.</i> .....	28
Figura 5. <i>Variación diaria de la precipitación acumulada</i> .....	29
Figura 6. <i>Variación diaria de la mediana de la temperatura.</i> .....	29
Figura 7. <i>Gráfico de dispersión de la precipitación acumulada a lo largo del tiempo de los datos.</i> ..	30
Figura 8. <i>Gráfico de dispersión de la mediana de la temperatura a lo largo del tiempo de los datos.</i>	30
Figura 9. <i>Gráfico de dispersión de precipitación (eje X) y temperatura (eje Y) a lo largo del tiempo de los datos.</i> .....	31
Figura 10. <i>Descomposición de la serie de tiempo de precipitación.</i> .....	31
Figura 11. <i>Descomposición de la serie de tiempo de temperatura.</i> .....	32
Figura 12. <i>Gráfico de dispersión que representa la regresión lineal de la precipitación.</i> .....	32
Figura 13. <i>Resultados del modelo de regresión lineal de los datos de precipitación.</i> .....	33
Figura 14. <i>Gráfico de dispersión que representa la regresión lineal de la Temperatura.</i> .....	34
Figura 15. <i>Resultados del modelo de regresión lineal de los datos de temperatura.</i> .....	34
Figura 16. <i>Gráfico de dispersión que representa la regresión múltiple de la Precipitación y Temperatura.</i> .....	35
Figura 17. <i>Resultados del modelo de regresión lineal múltiple sobre los datos de precipitación y temperatura</i> .....	35
Figura 18. <i>Climograma de la ciudad de Cuenca (Estacionalidad).</i> .....	36
Figura 19. <i>Variación de la precipitación en escalas de tiempo cortas.</i> .....	36
Figura 20. <i>Comportamiento de la precipitación en un año tipo en forma de calendario.</i> .....	38
Figura 21. <i>Comportamiento de la temperatura en forma de calendario.</i> .....	38

## Índice de Tablas

Tabla 1. <i>Tipos de nubes.</i> .....	10
Tabla 2 <i>Tipos de precipitación y sus características.</i> .....	13
Tabla 3 <i>Diccionario de datos.</i> .....	26

## Índice de Anexos

Anexo 1 Gráfico de líneas que representa la precipitación acumulada a lo largo del tiempo de los datos en escala mensual.....	5
Anexo 2 Gráfico de dispersión que representa la precipitación acumulada a lo largo del tiempo de los datos en escala mensual.....	5
Anexo 3 Gráfico de líneas que representa la mediana de la temperatura a lo largo del tiempo de los datos en escala mensual.....	5
Anexo 4 Gráfico de dispersión que representa la mediana de la temperatura a lo largo del tiempo de los datos en escala mensual.....	6
Anexo 5 Resumen gráfico y numérico de los datos de precipitación y temperatura del año 2017.....	6
Anexo 6 Resumen gráfico y numérico de los datos de precipitación y temperatura del año 2018.....	6
Anexo 7 Resumen gráfico y numérico de los datos de precipitación y temperatura del año 2019.....	7
Anexo 8 Resumen gráfico y numérico de los datos de precipitación y temperatura del año 2020.....	7
Anexo 9 Resumen gráfico y numérico de los datos de precipitación y temperatura del año 2021.....	7
Anexo 10 Resumen gráfico que representa la variación en el tiempo en escalas de tiempo cortas de los datos temperatura desde el año 2017 al 2021.....	8
Anexo 11 Resumen gráfico que representa la variación en el tiempo en escalas de tiempo cortas de los datos temperatura y precipitación desde el año 2017 al 2021.....	8
Anexo 12 Resumen gráfico en forma de calendario que representa el comportamiento anual de los datos de temperatura del año 2017.....	9
Anexo 13 Resumen gráfico en forma de calendario que representa el comportamiento anual de los datos de temperatura del año 2018.....	9
Anexo 14 Resumen gráfico en forma de calendario que representa el comportamiento anual de los datos de temperatura del año 2019.....	10
Anexo 15 Resumen gráfico en forma de calendario que representa el comportamiento anual de los datos de temperatura del año 2020.....	10
Anexo 16 Resumen gráfico en forma de calendario que representa el comportamiento anual de los datos de temperatura del año 2021.....	11
Anexo 17 Resumen gráfico en forma de calendario que representa el comportamiento anual de los datos de precipitación del año 2017.....	11
Anexo 18 Resumen gráfico en forma de calendario que representa el comportamiento anual de los datos de precipitación del año 2018.....	12
Anexo 19 Resumen gráfico en forma de calendario que representa el comportamiento anual de los datos de precipitación del año 2019.....	12
Anexo 20 Resumen gráfico en forma de calendario que representa el comportamiento anual de los datos de precipitación del año 2020.....	13
Anexo 21 Resumen gráfico en forma de calendario que representa el comportamiento anual de los datos de precipitación del año 2021.....	13
Anexo 22 Gráfico de dispersión que representa la regresión lineal simple de la serie de tiempo de la precipitación a acumulada de datos mensuales.....	14
Anexo 23 Gráfico de dispersión que representa la regresión lineal simple de la serie de tiempo de la temperatura a partir la mediana de datos mensuales.....	14
Anexo 24 Plataforma para la presentación de resultados.....	16

Anexo 25 Código de RStudio utilizado para la presente investigación ..... 16



## RESUMEN

La aplicación de un análisis climático enfocado en la estacionalidad, temperatura y precipitación mediante el uso de una regresión lineal de los datos meteorológicos, es esencial para determinar y establecer indicadores que generen información la cual permita captar de forma más clara el comportamiento climático en la ciudad de Cuenca, Ecuador. A partir de estos resultados y el correcto entendimiento de los mismos, es posible realizar acciones de conciencia ambiental y prevención en el área de la economía, salud, agronomía, entre otros. Así mismo, al momento de llevar a cabo este trabajo también se podrá desarrollar un análisis estadístico implementado en R Studio mediante la librería de OpenAir y determinar el comportamiento de las variables meteorológicas en la ciudad de Cuenca.

**Palabras clave:** Análisis de Datos, Estacionalidad, Meteorología, Precipitación, Temperatura.

## ABSTRACT

Implementing a meteorological analysis based and focused on seasonality, temperature and precipitation through the application of a linear regression of meteorological data is essential to determine and establish indicators that generate information which allows a clearer capture of climatic behavior in the city of Cuenca, Ecuador. By obtaining these results and the correct understanding of them, it is possible to carry out actions of environmental awareness and prevention in the area of health, agronomy, among others. Likewise, at the time of carrying out this analysis, it will also be possible to develop a statistical analysis implemented in R Studio through the OpenAir library and determine the behavior of the meteorological variables in Cuenca.

**Keywords:** Data Analysis, Meteorology, Precipitation, Seasonality, Temperature



Este certificado se encuentra en el repositorio digital de la Universidad del Azuay, para verificar su autenticidad escanee el código QR

## 1. Introducción

Hoy en día, es de gran importancia el análisis meteorológico ya sea en el ámbito de la temperatura, precipitaciones, calidad de aire, y aún más, la contaminación y el comportamiento que pueden tener cada una de estas variables. Es por esto que es necesario proporcionar información confiable a la ciudadanía sobre la situación de la contaminación y clima, para que de esta manera se puedan tomar las medidas apropiadas para mitigar o prevenir los impactos negativos cuando sea necesario.

Dentro de la ciudad de Cuenca, la EMOV EP se encarga diariamente de realizar informes y de procesar información meteorológica para evaluar la estacionalidad y contaminación del aire (EMOV EP, 2022). Sin embargo, existen muchos datos y métodos de análisis los cuales pueden ser utilizados para generar nuevos indicadores meteorológicos y así retroalimentar con resultados más acertados que sean de gran ayuda para la ciudad de Cuenca. Debido a esto, la presente investigación propone otorgar una nueva forma de analizar, procesar los datos y una mejora en la presentación de los mismos, lo que permitirá tener más información útil y acertada. Además, esto generará una nueva fuente de información que servirá como un complemento para lo que ya existe y será de gran uso para la sociedad. Estos resultados serán creados mediante la aplicación de métodos de análisis y procesamiento de datos utilizando el entorno de desarrollo de R Studio y la librería R OpenAir (Carslaw, 2022).

Debido a esto, la problemática de la presente investigación se enfoca en establecer la estacionalidad de la ciudad de Cuenca, la cual hoy en día no se encuentra bien definida ya que en Ecuador existe una gran variabilidad climática por su localización geográfica y su morfología. A partir de la obtención de la estacionalidad, será posible determinar y presentar un indicador de calidad de aire basado en la estación climática actual de la ciudad y así entender su estado de manera más clara. Las mediciones climáticas tales como temperatura, precipitaciones y calidad de aire se pueden procesar y presentar en tiempo real a los usuarios finales en un formato fácil de manejar y entender, lo que permitirá aumentar la conciencia ambiental dentro de la ciudad y así mismo otorgará la posibilidad, que, dentro del ámbito laboral y grupos sensibles puedan tomar las precauciones adecuadas cuando sea necesario.

Analizar esta información y su presentación puede ser de gran interés para el bienestar de la sociedad y así mismo, permitirá establecer métricas que permitan comprender de mejor manera el comportamiento meteorológico.

### 1.1 Objetivos

- Realizar una revisión literaria para conocer sobre el estado del arte de la investigación en curso.
- Realizar una revisión y análisis de los datos a ser evaluados para comprender su estructura y hacer un análisis de tendencias.
- Implementar una regresión lineal como método estadístico para determinar el comportamiento estacional meteorológico en la ciudad de Cuenca.
- Desarrollar un análisis estadístico implementado en R Studio mediante la librería de OpenAir y determinar el comportamiento de las variables meteorológicas en la ciudad de Cuenca.
- Analizar los resultados obtenidos e interpretarlos correctamente.
- Proveer a la sociedad de información certera sobre el clima en la ciudad de Cuenca y su comportamiento.

## 1.2 Marco teórico

En esta sección se indicará cada uno de los principios que conforman la presente investigación. Con el objetivo de obtener una mejor comprensión sobre lo que este estudio trata y el aporte que tendrá dentro de la ciudad de Cuenca y su sociedad, por lo que, es de suma importancia, analizar conceptualmente cada uno de los elementos que forman parte de este trabajo.

### **Meteorología**

En razón de lo que expresa el autor Coleman, define a la meteorología en su estudio, como una ciencia, la cual estudia el clima, el tiempo, la atmósfera y sus movimientos dentro de la atmósfera en escalas de tiempo cortas. Su enfoque principal está basado en el comportamiento de las variables atmosféricas considerando las condiciones actuales o de un futuro cercano. (Coleman, 2015)

Así mismo, podemos decir que el clima es el estado en el que se encuentra la atmósfera, principalmente con respecto a su efecto sobre la vida y las actividades humanas. Se define al clima principalmente en términos de temperatura, presión, nubes, humedad y viento; aquellos que son los elementos o variables más importantes e influyentes de los que se compone el clima, además de los procesos que causan el clima y la interacción de la atmósfera con la superficie de la Tierra, el océano y la vida. Es importante mencionar y conocer que el clima es un fenómeno cercano a la superficie de la tierra, es por esto que lo podemos ver y percibir todos los días y lo observamos en constante cambio a través de nuestro entorno (Spellman, 2013).

Es esencial comprender la influencia que tiene el clima local dentro del estudio de las ciencias ambientales. Estos factores determinantes incluyen la fuerza de los vientos, la dirección en la que soplan, la temperatura, la luz solar disponible y el tiempo transcurrido desde el último evento meteorológico. Hoy en día, los meteorólogos utilizan una variedad de técnicas y herramientas especializadas, incluidos los satélites meteorológicos, para complementar sus sentidos y ayudar al planeta en el ámbito climático (Ackerman & Knox, 2007).

Para una mayor comprensión de los términos meteorológicos, debemos entender la diferencia entre el tiempo (atmosférico) y el clima. Muy a menudo se consideran estos dos términos con el mismo significado, pero es importante recalcar lo que caracteriza cada uno de estos. El clima es la condición de la atmósfera en un lugar y momento particular; diariamente, se realizan informes meteorológicos acerca de las condiciones climáticas actuales, los cuales suelen incluir la temperatura, humedad, presión, viento, precipitaciones y nubosidad. Esta información es fundamental para la sociedad debido a que el clima actual influye en todas las actividades cotidianas. De la misma manera, debemos entender que la causa fundamental del clima es el efecto del Sol sobre la Tierra, debido a que en cualquier momento el Sol calienta solamente la mitad de la Tierra, mientras que la otra mitad se encuentra ensombrecido. Los patrones climáticos estacionales indican el resultado de cambios o variaciones en la temperatura causadas por la inclinación de la Tierra hacia el Sol en verano, y viceversa en invierno. Por otro lado, el tiempo de una región, en contraste con el clima, es la condición de la atmósfera durante muchos años. Este se describe mediante promedios a largo plazo de las condiciones atmosféricas y debe incluir tanto los extremos como los promedios (Ackerman & Knox, 2007). Tal como se ha definido al clima, se debe recalcar que este no es una característica estática que pueda describirse de una vez por todas mediante promedios de variables meteorológicas durante un período de tiempo específico. Al contrario, el clima se caracteriza por

evolucionar continuamente en una variedad de escalas temporales y espaciales. Debido a esto, es de mucha importancia las predicciones climáticas precisas (Maidment, 1993).

## **Presión Atmosférica**

Una variable muy importante dentro de la meteorología es la presión, aquella que cómo su significado nos indica, es la fuerza ejercida sobre un área determinada. La atmósfera, cómo parte de su composición, contiene moléculas de gas las cuales se mantienen en constante movimiento y ejercen una presión cuando golpean un objeto. Debido a que las moléculas que componen el aire se mueven en todas las direcciones, la presión se ejerce de la misma forma.

La concentración de estas moléculas que se encuentran en el aire pueden ser medidas en términos de densidad o masa por unidad de volumen. La presión, la temperatura y la densidad de un gas están relacionadas entre sí mediante una fórmula matemática conocida como ley de los gases ideales. Cambiar una de estas variables provocará un cambio en una o todas (Ackerman & Knox, 2007).

$$\frac{\textit{Presión}}{\textit{Densidad} \times \textit{Temperatura}} = \textit{Constante}$$

Tal y como se ha indicado, si por alguna razón una de estas tres variables cambia, entonces las otras dos también tienden a cambiar para mantener constante esta relación. Ahora, para comprender de una manera más clara el comportamiento de la presión y su influencia sobre el clima, decimos que el aire más caliente es menos denso que el aire más frío. Al contrario, si disminuye la presión del aire, entonces la densidad, la temperatura o ambas también deben disminuir. Esto es muy importante para comprender el clima en la altitud como es el caso de este estudio a ser realizado en la ciudad de Cuenca (Ackerman & Knox, 2007).

La presión atmosférica se la mide mediante el uso del barómetro, el cuál es un instrumento de medición inventado aproximadamente en los años 1700 y se lo atribuye al italiano Evangelista Torricelli (1608-1647) quien fue un matemático, discípulo de Galileo (Frisinger, 1983). Este instrumento consta de un tubo de vidrio, sellado en su extremo superior y que en su extremo inferior tiene una llamada "cisterna", aquella que se encuentra abierta al aire. El tubo se llena con mercurio en su extremo abierto y luego se invierte sobre la cisterna, y el mercurio desciende hasta que el peso de la porción que se encuentra sobre el nivel del mercurio en la cisterna equilibra la presión del aire en un área igual a la sección transversal del tubo. La altura de la columna de mercurio se lee en una escala graduada adherida al tubo. Es posible aplicar correcciones a la lectura, con el fin de eliminar variaciones debidas a la temperatura u otras condiciones climáticas (Fitzhugh Talman, 2014).

Dado que la presión de la atmósfera disminuye con el aumento de la altitud a un ritmo bastante definido, el barómetro se utiliza para medir alturas. A veces se gradúa directamente, para este propósito, en pies o metros, y entonces se le llama altímetro (Fitzhugh Talman, 2014).

Es de gran importancia recalcar las afecciones a la salud que la presión atmosférica puede ocasionar en diferentes circunstancias. Mientras menor presión atmosférica existe, pueden ocasionar diferentes problemas de salud, sin embargo, esto se relaciona también con las condiciones climáticas de temperatura o precipitación debido a condiciones de otros tipos provocando síntomas tales como aumento de la rapidez de la respiración y aceleración de la circulación, ruidos en la cabeza y mareos, deterioro de los sentidos de la vista, el oído y el tacto, embotamiento de las facultades intelectuales y un fuerte deseo de dormir (Fitzhugh Talman, 2014). Debido a esto, es fundamental

comprender el comportamiento de esta variable meteorológica y su relación con otras, para que, de esta manera podamos obtener resultados más claros y con mayor fundamento teórico.

## **Temperatura**

Esta variable meteorológica es una de las más importantes en el ámbito climático, tal es el caso, que muchas veces cuando alguien pregunta, cómo se encuentra el clima, en muchas ocasiones la respuesta es la temperatura del aire. Debido a lo fundamental que es la temperatura para la meteorología y por la experiencia del día a día, la conocemos en diferentes escalas de tiempo tal como: estaciones, diario y hasta cada hora, lo cual nos permite comprender las diferencias de esta variable de un lugar a otro (Lutgens et al., 2018). Se define a la temperatura como una cantidad física la misma que está caracterizada por el grado de calentamiento de un cuerpo físico, lo cual se ocasiona como resultado del movimiento secundario accidental de moléculas en el cuerpo. En un sentido físico, la temperatura es una medida de la velocidad media del nivel de energía cinética de las moléculas. En otros términos, la temperatura del aire se caracteriza por la relación de dos cuerpos que están en contacto térmico mutuo y tienden a alcanzar las mismas temperaturas (Battan, 1979).

Un término que debe ser mencionado dentro de la temperatura, y que muy a menudo puede generar confusión sobre su definición, es el calor. El calor es una medida de la energía cinética total de los átomos y las moléculas de la materia. Por otro lado, la materia consiste en átomos y moléculas que oscilan constantemente, que, a diferencia del calor, la temperatura es una medida de la intensidad o la energía cinética media de átomos y moléculas individuales. El calor y la temperatura son variables que están estrechamente relacionadas entre sí, es por esto que, al agregar calor, las moléculas se mueven más rápido y esto contribuye a aumentar la temperatura. Por el contrario, al restar el calor, las moléculas se mueven más lentamente, es decir, la temperatura disminuye (Spiridonov & Ćurić, 2021).

Para entender de una forma más clara a esta variable, es fundamental conocer sus diferentes escalas, métodos y herramientas de medición, así como, su comportamiento y afecciones; así mismo, cómo el aire se calienta y la importancia de la relación que comprende la Tierra y el Sol en la causa de las variaciones y cambios de temperatura a lo largo de las estaciones y de las latitudes.

La temperatura es un elemento considerado clave dentro del clima. Esto se da debido a que, sin información precisa, el trabajo de los agricultores, los analistas meteorológicos y muchos otros sería mucho más difícil. Es por esto que, la medición y recolección cuidadosa de datos de esta variable son muy importantes (Ahrens & Henson, 2018). La medición de la temperatura se presenta en 3 escalas que son las unidades básicas para el alcance cuantitativo de la temperatura y aquellas que son Fahrenheit (°F), Celsius (°C) y Kelvin (K), cada una de estas es utilizada alrededor del mundo y cada país, meteorólogo o geólogo, establece su escala preferida para el manejo de la información por lo que debemos comprender las diferencias de cada una de estas escalas (Spiridonov & Ćurić, 2021).

La escala Fahrenheit, ideada en el año 1714, por el físico alemán Daniel Fahrenheit (Frisinger, 1983) y como su mayoría, se basa en puntos de referencia, los cuales en el caso de esta escala son dos; la temperatura a la que se derrite el hielo (32 °F) y el punto de ebullición del agua (212 °F) obteniendo una diferencia de 180 °F entre estos dos puntos (Lutgens et al., 2018). Posteriormente, 28 años después, un astrónomo sueco, Anders Celsius diseñó una escala decimal aquella que sus puntos de referencia, para el punto de fusión del hielo se fijaba en 0° y

el punto de ebullición del agua en 100°. Como podemos observar esta escala tiene una diferencia entre sus puntos mínimo y máximo de 100°, que al contrario de la escala Fahrenheit es de 180°.

Gracias a esto es muy importante tomar en cuenta estas diferencias al convertir de una escala a otra (Lutgens et al., 2018). A continuación, encontramos a la escala Kelvin, la cual es muy similar a la escala Celsius debido a sus puntos de referencia, es decir, al igual que Celsius, existe una diferencia de 100° que separa el punto de fusión del hielo y del punto de ebullición del agua, sin embargo, el punto de fusión se establece en 273 K y el punto de ebullición en 373 K. Una característica que diferencia a las dos escalas mencionadas anteriormente, es que Kelvin representa el punto cero o cero absoluto (0 K) donde la temperatura a la que se supone, que todo movimiento molecular cesa (Spiridonov & Ćurić, 2021). Cada una de las escalas revisadas anteriormente pueden ser convertidas una a otra, con su respectiva relación, a continuación, se explica la relación que se tiene entre las escalas de Celsius y Fahrenheit.

$$^{\circ}F = (1.8 \times ^{\circ}C) + 32$$

$$^{\circ}C = \frac{^{\circ}F - 32}{1.8}$$

Ahora, que se ha revisado brevemente cada una de las escalas de medición más importantes, debemos comprender cómo funciona su medición y los instrumentos que se necesitan para realizarlo. El instrumento utilizado para la medición de la temperatura es el termómetro, su origen se remonta aproximadamente a los años 1600 y se la atribuye al físico italiano, Galileo Galilei. Posteriormente, en los años siguientes, se llevaron a cabo muchas investigaciones acerca de este instrumento para comprobar y mejorar su funcionamiento, y no fue hasta aproximadamente los años 1800 donde el termómetro había alcanzado una etapa de desarrollo suficiente para permitir un uso satisfactorio en las investigaciones científicas (Frisinger, 1983).

Se define al termómetro como un instrumento que mide la temperatura, ya sea mecánica o eléctricamente. Para medir con precisión la temperatura del aire, se debe ubicar un termómetro en la sombra y colocarlo a 1,5 metros de la superficie. Una de las propiedades más comunes que los termómetros utilizan para la medición de la temperatura del aire, es la reacción de las sustancias a los cambios de la temperatura, es decir, estas sustancias se expanden al calentarse y se contraen cuando se enfrían (Lutgens et al., 2018). El termómetro de líquido en vidrio es un instrumento mecánico que indica lecturas relativamente precisas en un amplio rango de temperatura. Su diseño está compuesto por un bulbo, el cual contiene un líquido y un vástago perforado para formar un tubo capilar delgado. Cuando la temperatura aumenta, las moléculas de líquido se vuelven más activas y se dispersan, lo que hace que el líquido se expanda. La expansión del fluido en el bulbo es mucho mayor que la expansión del vidrio que lo encierra, forzando un “hilo” delgado de fluido hacia arriba por el tubo capilar. Por el contrario, cuando baja la temperatura, el líquido se contrae y el hilo de fluido vuelve a bajar por el tubo hacia el bulbo.

El movimiento del extremo de este hilo, conocido como menisco, se calibra contra una escala establecida para indicar la temperatura (Ahrens & Henson, 2018; Lutgens et al., 2018). Hoy en día, existen también los *termómetros electrónicos*, más utilizados para las estaciones de observación, aquellas que se encuentran automatizadas y, para la medición de la temperatura se emplea un termómetro eléctrico, llamado termistor. El termistor funciona con el principio fundamental de que el flujo de electricidad que fluye a través de una resistencia, aquel que es un disco o perla de óxido metálico, depende de la temperatura. Según sea que cambie la temperatura de la resistencia, se altera el flujo de electricidad de una manera predecible. De esta manera, un termómetro

eléctrico mide el flujo de electricidad y calibra y muestra esos datos como grados de temperatura. Una ventaja de un termómetro eléctrico es que proporciona una lectura instantánea en cualquier escala de temperatura. Una condición fundamental para la medición de la temperatura y los termómetros que permita obtener datos muy precisos depende de la ubicación en la que estén ubicadas las estaciones de medición (Lutgens et al., 2018).

Los factores primarios que influyen en la variación de la temperatura, se los conoce como controladores o controles de temperatura. Principalmente, encontramos factores como radiación solar, latitud, altitud, abundancia de nubes y las corrientes marinas (Spiridonov & Ćurić, 2021). El factor más influyente en los cambios de la temperatura es la latitud. La cantidad de energía solar que recibe la tierra es variante por la latitud, hora del día y la estación del año, por lo que para comprender el comportamiento climático debemos saber por qué latitudes diferentes reciben diferentes cantidades de energía solar y la razón por la cual es cambiante a lo largo del año produciendo estaciones. Además, el ángulo (altitud) del Sol sobre el horizonte afecta la cantidad de energía solar que llega a la superficie terrestre. Cuando el Sol está directamente sobre la cabeza (en un ángulo de  $90^\circ$ ), los rayos solares están más concentrados y, por lo tanto, más intensos. En ángulos solares más bajos, los rayos se vuelven más dispersos y menos intensos. Esto explica por qué las áreas tropicales, que experimentan ángulos solares más altos durante todo el año, son mucho más cálidas que las regiones polares, donde los ángulos solares son más bajos (Spiridonov & Ćurić, 2021). Es importante indicar que el ángulo el Sol también determina el “camino” que los rayos solares deben realizar mientras traspasan la atmósfera, por lo que, en el caso como Ecuador, donde el Sol está directamente sobre nuestra cabeza, los rayos caen directamente realizando el camino más corto posible; siendo el caso que el Sol cae a diferente grado de inclinación observamos que se debe recorrer mucha más distancia hasta que lleguen a la tierra. De la misma manera, a lo largo de un año calendario podemos observar que el grado de inclinación del Sol es cambiante. La causa principal de este fenómeno es debido a que la orientación de la tierra en relación al Sol es variante, es decir, esto sucede gracias a la rotación de la tierra (Lutgens et al., 2018).

Otro de los factores más importantes en el cambio de temperatura es la altitud o también conocido como elevación. Las temperaturas descienden a medida que aumenta la altitud, y la presión atmosférica y la densidad igualmente se reducen. Debido a esto, la mayoría de las cimas de las montañas que se encuentran a grandes altitudes en muchos lugares del mundo siempre están cubiertas de nieve a lo largo del año. Un ejemplo que permite comprender este controlador más profundamente es el de dos ciudades de Ecuador, Quito y Guayaquil, que demuestran la influencia de la altitud en la temperatura media. Estas dos ciudades se encuentran ubicadas cerca de la línea ecuatorial y relativamente cerca una de la otra, sin embargo, la temperatura media anual en Guayaquil es de aproximadamente  $26^\circ\text{C}$ , en comparación con la media de Quito, siendo de  $13^\circ\text{C}$  (Lutgens et al., 2018).

La razón de este fenómeno es que la ciudad de Guayaquil se encuentra cerca del nivel del mar, mientras que Quito se encuentra en lo alto de la Cordillera de los Andes, a 2800 metros sobre el nivel del mar. Se ha demostrado que la altitud afecta significativamente no solamente a las temperaturas medias, sino también al rango de temperatura diario. Debido a que el aire es más delgado a grandes altitudes, la atmósfera superior absorbe, refleja y dispersa una porción más pequeña de la radiación solar entrante. En consecuencia, con el aumento de la altitud, aumenta la intensidad de la radiación solar, lo que provoca un rápido calentamiento diurno. Por el contrario, el enfriamiento nocturno también se produce a un ritmo acelerado. Debido a esto, para la toma de datos de las estaciones de medición ubicadas a lo alto de las montañas, se debe tomar en cuenta que usualmente tienen un mayor rango de temperatura diaria que las estaciones en elevaciones más bajas (Lutgens et al., 2018).

Así mismo, como objetivo principal de la presente investigación está centrado en la determinación de la estacionalidad, es fundamental comprender que la altitud como factor influyente en la temperatura, modifica claramente las temperaturas, pero el rango de temperatura anual (diferencia entre las temperaturas medias mensuales más cálidas y más frías) no se ve muy afectado (Lutgens et al., 2018). Por otro lado, un factor que es influyente en los cambios de la temperatura son las variaciones en el calentamiento de diferentes superficies tales como el suelo y el agua. Es decir, las diferentes superficies terrestres reflejan y absorben cantidades variables de energía solar entrante, lo que a su vez provoca variaciones en la temperatura del aire que se encuentra a su alrededor.

Las superficies de agua, tales como el océano, lagos u otros similares, necesitan mucho más calor para elevar la temperatura de una determinada cantidad de agua, en relación al grado de temperatura requerido para elevar la temperatura de la misma cantidad de tierra. El agua no solo se calienta más lentamente que la tierra, sino que también se enfría más lentamente, lo que permite que los océanos actúen como grandes depósitos de calor (Ahrens & Henson, 2018). Otro factor que afecta a la temperatura son las corrientes marítimas, en la superficie del agua, la energía pasa del aire en movimiento al agua a través de la fricción. El arrastre resultante ejercido por los vientos que soplan constantemente a través del océano hace que la capa superficial de agua se mueva; así, los principales movimientos horizontales de las aguas superficiales están íntimamente relacionados con la circulación de la atmósfera. Debido a esto, el agua y el viento que circula a causa de las corrientes marítimas representan un efecto importante en el clima, ya sea para transportar frío o calor (Lutgens et al., 2018).

La ubicación geográfica y dirección predominante del viento es otro de los factores que causan los cambios climáticos, en el ámbito de la temperatura. Debido a la predominancia del viento en un lugar en particular; diferentes condiciones climáticas ocasionadas por el calentamiento diferencial de la tierra pueden ser arrastrados hacia la superficie. Un ejemplo claro para la comprensión de este controlador es, el de una estación costera aquella donde los vientos predominantes soplan desde el océano hacia la costa y otra en donde los vientos predominantes vienen desde la tierra hacia el océano, observando temperaturas considerablemente diferentes entre ambas estaciones. Este factor puede ser afectado por las corrientes oceánicas, es decir, si hay una corriente oceánica a lo largo de la costa, entonces el efecto de la corriente oceánica también puede ser llevado hacia la tierra. Asimismo, este fenómeno puede ser observado en las montañas; estos vientos dominantes pueden afectar las temperaturas si los vientos soplan a través de una cadena montañosa, donde las montañas crean una barrera para el flujo de aire. Además, los efectos que tienen las montañas sobre la temperatura son muy influyentes, ya que debido a que actúan como una barrera, el aire, al momento de ir cuesta abajo de la montaña tiene a ser más cálido gracias a que se calienta por compresión a medida que desciende (Lutgens et al., 2018).

El albedo es un importante controlador de temperatura en el grado de reflexión de la radiación solar que llega a la superficie terrestre. Este término hace referencia a la fracción de radiación reflejada por un objeto. El albedo de la Tierra es uno de los elementos que determinan la temperatura de la superficie, pero también determinan el clima, sin embargo, es importante recalcar que la radiación solar reflejada de regreso al espacio se pierde en la Tierra y no juega un papel en el calentamiento de la superficie y la atmósfera de la Tierra (Lutgens et al., 2018). Como principales elementos de la superficie y la atmósfera de la Tierra que influyen en el albedo, encontramos desiertos, glaciares, océanos, bosques, nubes; donde los bosques o los océanos reflejan del 5 al 15 %



de la radiación, la arena del desierto el 30 % y los glaciares el 50 %, pero la nieve fresca refleja hasta el 98 % de la radiación solar (Spiridonov & Ćurić, 2021).

Otro factor que conocemos e influye en gran parte de la temperatura son las nubes. En el día, una mayor nubosidad quiere decir que entrará a la superficie una menor cantidad de radiación solar, en consecuencia, se reduce la temperatura del aire. La cantidad de radiación solar reflejada por las nubes depende del grosor de la capa de nubes, que puede variar del 25 al 90 por ciento; por la noche, las nubes tienen el efecto contrario debido que absorben la radiación saliente de la Tierra y emiten de regreso hacia la superficie una parte de ella (Lutgens et al., 2018; Spiridonov & Ćurić, 2021).

Algo fundamental dentro de las variaciones de la temperatura es el efecto de las ciudades, el cual es un fenómeno en el que el entorno construido altera la temperatura del aire de una ciudad, como consecuencia de todo tipo de construcción, ya sean estas, fábricas, carreteras, edificios o casas, se crean nuevos microclimas de gran complejidad. Estos cambios en la forma en que las ciudades absorben y emiten radiación muy a menudo aumentan las temperaturas en comparación con las áreas rurales que están a su alrededor. Parte del aumento de la temperatura urbana también se puede atribuir al calor ocasionado por residuos de diferentes fuentes como la calefacción y el aire acondicionado, de las fábricas, los vehículos, u otros emisores. Debido a esto, las altas temperaturas y la contaminación ocasionada pueden generar algunos problemas importantes de salud (Lutgens et al., 2018).

## **Precipitación**

La precipitación es una variable muy importante para la meteorología, climatología e hidrología; además se la considera un componente fundamental del ciclo global del agua; aquella, según sus términos físicos, se representa como las partículas acuosas en fase líquida o sólida que se originan en la atmósfera y caen a la superficie de la Tierra (S. Liang & Wang, 2020). Tal y como conocemos a esta variable, se presenta en una variedad de formas, sin embargo, muchos factores influyen en cómo puede llegar hacia el suelo, como son: el contenido de humedad atmosférica, la temperatura de la superficie, la intensidad de las corrientes ascendentes y el método y la velocidad de enfriamiento (Spellman, 2013). De la misma manera, para una clara comprensión acerca del comportamiento de esta variable, se debe analizar la influencia de las nubes, los tipos de precipitación y muchos otros elementos que intervienen sobre la precipitación.

Por otro lado, se debe tomar en cuenta la importancia de esta variable debido a las afecciones que tiene sobre la tierra, sobre el mar, los seres humanos, los animales y la vegetación. Desde la antigüedad, han existido dramáticas consecuencias de la variabilidad de las precipitaciones, las sequías y las inundaciones extremas aquellas que han determinado rasgos generales de los asentamientos humanos y el comercio (Maidment, 1993), por lo que para este estudio es muy importante comprender su comportamiento, métodos de medición, escalas y otros, y así poder cumplir adecuadamente con los objetivos de la presente investigación.

En primer lugar, previo a analizar esta variable meteorológica, debemos comprender acerca de la hidrología, aquella que tiene como a la precipitación como uno de sus elementos principales. Tal y como (Maidment, 1993) indica en su libro, se define a la hidrología como la ciencia que trata las aguas de la Tierra, su aparición, circulación y distribución, sus propiedades químicas y físicas, y su reacción con el medio ambiente, incluida su relación con los seres vivos. El dominio de la hidrología abarca la historia completa de la vida del agua en la Tierra, además, la hidrología constituye la precipitación, la evaporación, la infiltración, el flujo de agua

subterránea, la escorrentía, el flujo de corriente y el transporte de sustancias disueltas o suspendidas en el agua que fluye. La hidrología se ocupa principalmente del agua en la superficie terrestre o cerca de ella; las aguas oceánicas son el dominio de la oceanografía y las ciencias marinas.

Científicamente, es fundamental la capacidad de predicción que un fenómeno posee, así mismo, cómo de posteriormente verificar estas predicciones mediante la observación. En el caso particular de la hidrología, la predicción y verificación es dificultosa ya que los fenómenos son impulsados por la precipitación, que es un proceso muy aleatorio e incierto, porque la extensión espacial y la variabilidad de los fenómenos son tan grandes, se complica la predicción y medición exactas de la hidrología en todo momento (Maidment, 1993).

El ciclo hidrológico es el principio más fundamental de la hidrología (Maidment, 1993). Este describe el ciclo de la circulación del agua desde el océano y otras superficies acuosas hacia la atmósfera y la tierra. Inicialmente, se ocasiona el proceso de *evaporación*, aquel que es el cambio de fase del agua líquida a vapor de agua. Entre las principales fuentes de vapor de agua atmosférico, la superficie de la Tierra es la más importante, seguida de los océanos, lagos y glaciares, así mismo, la transpiración, fenómeno que representa el proceso por el cual las plantas liberan vapor de agua a la atmósfera, es también una fuente de vapor de agua atmosférico. Posteriormente, el vapor de agua atmosférico cambia de fase para formar partículas sólidas y líquidas, más conocido como *condensación*; donde se inicia el proceso de precipitación en forma de lluvia o nieve. Este cae sobre los árboles y la vegetación, lo cual proporciona escorrentía a la superficie terrestre, se infiltra en los suelos, fluye el agua subterránea, se descarga en los arroyos y, en última instancia, fluye hacia los océanos, de donde eventualmente se evaporará una vez más, y se repetirá este ciclo (Ackerman & Knox, 2007; Maidment, 1993).

Cómo un elemento primordial en la hidrología y precipitación encontramos a la formación o desarrollo de las nubes. Estas consisten en miles de millones de diminutas gotas de agua y/o cristales de hielo según sea el caso, en donde estas se encuentran suspendidas sobre la superficie de la Tierra. Tal y como se revisó la influencia de las nubes en la temperatura del aire, a medida que estas se forman, se liberan grandes cantidades de calor a la atmósfera, las nubes ayudan a regular el equilibrio energético de la Tierra al reflejar y dispersar la radiación solar y al absorber la energía infrarroja de la superficie de la Tierra. Y, por consiguiente, sin nubes no habría precipitaciones (Ahrens & Henson, 2018). Además, se han convertido en un elemento meteorológico aún más importante, ya que cumplen un papel fundamental en la tierra pues son de gran interés para los meteorólogos debido a que brindan una indicación visual de las condiciones atmosféricas (Lutgens et al., 2018).

Posteriormente, para comprender cómo se ocasiona la precipitación, debemos conocer acerca de la formación de las nubes y sus diferencias. En primer lugar, tenemos a las nubes cálidas, que son aquellas que tienen temperaturas por encima del punto de congelación en todos los niveles y donde el agua se presenta en forma líquida. Por otro lado, las nubes frías, tal como su nombre lo indica, son aquellas que se encuentran debajo del nivel de temperatura de los 0°C. Estas nubes se forman en latitudes medias y altas, donde las temperaturas del aire están por debajo del punto de congelación y el agua puede estar presente en forma de partículas de hielo, gotas sobre-enfriadas o vapor de agua. Sin embargo, al estar justo por encima del nivel de congelación, casi todas las gotas de las nubes todavía están compuestas de agua líquida, las gotas de agua que existen a temperaturas bajo cero se denominan gotas sobre-enfriadas. Las nubes que contienen tanto partículas de hielo como gotitas sobre-enfriadas se denominan nubes mixtas (Ahrens & Henson, 2018; Maidment, 1993). Así mismo, como se indica a

continuación, existen diferentes tipos y formas de nubes aquellas que se categorizan según la altura y otras características (Lutgens et al., 2018).

**Tabla 1.**  
*Tipos de nubes.*

<b>Familia de nubes y altura</b>	<b>Tipo de nube</b>
Nubes altas: Más de 6000 m.	Cirrus (Ci)
	Cirrocumulus (Cc)
	Cirrostratus (Cs)
Nubes medias: 2000-6000 m.	Altostratus (As)
	Altostratus (As)
Nubes bajas: Menos de 2000 m.	Stratus (St)
	Stratocumulus (Sc)
	Nimbostratus (Ns)
Nubes de desarrollo vertical	Cumulus (Cu)
	Cumulonimbus (Cb)

Fuente: Elaborado por el autor (Basado en Lutgens et al., (2018))

La formación de las nubes se da en el momento que el aire se sobresatura, lo que quiere decir que la presión del vapor de las nubes sobrepasa la presión de vapor de saturación (Maidment, 1993). Un volumen o porción de aire se satura cuando contiene todo el vapor de agua que puede transportar a la temperatura predominante; si entra más vapor de agua en el aire, se ocasionará el proceso de condensación de una cantidad correspondiente. Una de las formas más comunes por las que se ocasiona la saturación y formación de las nubes, es a causa del proceso de enfriamiento adiabático. Este fenómeno hace referencia a cuando una porción de aire se expande y se enfría, o se comprime y se calienta, y no hay intercambio de calor con su entorno exterior, posteriormente ocasionando que la temperatura de esta porción de aire llegue a la temperatura del punto de rocío y la humedad relativa esté al 100% (Ahrens & Henson, 2018; Lutgens et al., 2018).

El punto de rocío es la temperatura a la que debe enfriarse el aire a presión constante para que se sature, en otras palabras, el punto de rocío es la temperatura a la cual la relación de mezcla real es igual a la relación de mezcla de saturación (Maidment, 1993). Seguido de esto, para que se ocasione la condensación, debe haber una superficie en la que se pueda condensar el vapor de agua, a las que se les conoce como núcleos de condensación de nubes. Cuando se produce la condensación en la altura, comienza el crecimiento de las gotas de la nube gracias a las partículas diminutas conocidas como núcleos de condensación de nubes (Cloud Condensation Nuclei), aquellas que pueden ser polvo, partículas de las erupciones volcánicas, polen de las plantas, entre otros (Lutgens et al., 2018). Sin embargo, para que exista la precipitación, las gotas de agua deben crecer significativamente. Una

gota de lluvia típica tiene un diámetro de unos 2 milímetros, o 100 veces mayor que la gota de una nube promedio. Sin embargo, el volumen de una gota de lluvia típica es 1 millón de veces el de una gota de nube. Por lo tanto, para que se forme la precipitación, las gotas de las nubes deben crecer en volumen aproximadamente 1 millón de veces; aquello que viene determinado principalmente por dos procesos aquellos que son el proceso “Bergeron” y el proceso de “colisión-coalescencia” (Lutgens et al., 2018).

El proceso Bergeron es el proceso más importante para el inicio de la precipitación; se atribuye al meteorólogo sueco, Tor Bergeron, y quien propuso que esencialmente los cristales de hielo en una nube crecen a expensas de gotas de agua sobre-enfriadas (Spellman, 2013). Este proceso se origina en las nubes frías, a partir de temperaturas menores a 0°C, tal y como se explicó anteriormente, es donde coexisten gotas de nubes líquidas y cristales de hielo. En la atmósfera, las gotas sobre-enfriadas se congelan al contacto con partículas sólidas que tienen una forma cristalina parecida a la del hielo y que sirven como núcleo para la formación de cristales de hielo. Estos materiales, llamados núcleos de congelación, son escasos en la atmósfera y generalmente no son aprovechados hasta que la temperatura del aire es de aproximadamente de -15°C o menos. Por consiguiente, la mayoría de las nubes que se encuentran a temperaturas entre 0 y -15°C se componen únicamente de gotas de agua sobre-enfriada. Al momento de alcanzar temperaturas más bajas que oscilan entre -15 y -40 °C, la mayoría de las nubes consisten en gotitas sobre-enfriadas que coexisten con cristales de hielo, y a temperaturas inferiores a -40 °C, las nubes están compuestas completamente de cristales de hielo. Otro concepto fundamental del agua que permite la formación de las gotas y genera la precipitación, es que la presión de saturación del vapor sobre los cristales de hielo es menor que sobre las gotas de agua. Este fenómeno indica que cuando el aire que rodea una gota de agua está saturado, este está sobresaturado en relación con un cristal de hielo a sus alrededores. Esto se debe a que los cristales de hielo son sólidos, por lo que las moléculas de hielo individuales se mantienen unidas con más fuerza que las de una gota líquida. Gracias a esto, las moléculas de vapor de agua escapan de las gotas de agua a un ritmo más rápido que de los cristales de hielo que estén a la misma temperatura (Lutgens et al., 2018).

Por otro lado, la formación de las gotas de agua también se ocasiona en las nubes cálidas, esto se debe al proceso conocido como “colisión y coalescencia”. Este fenómeno es muy simple, aunque muy importante en la meteorología; se basa en la fusión de gotas más pequeñas en gotas más grandes para formar gotas de lluvia lo suficientemente grandes como para llegar al suelo antes de evaporarse o que sean sostenidas por las corrientes de aire (Spellman, 2013). A medida que caen las gotas de las nubes, el aire las frena, por lo que la cantidad de resistencia del aire depende del tamaño de la gota y de su velocidad de caída, es decir, mientras la velocidad de la gota es mayor, esta encontrará cada vez más moléculas de aire cada segundo.

La velocidad de la gota que cae aumenta hasta que la resistencia del aire es igual a la atracción de la gravedad. En este punto, la gota continúa cayendo, pero a una velocidad constante, que se denomina velocidad terminal debido a que las gotas más grandes tienen una relación de área de superficie a peso más pequeña, deben caer más rápido antes de alcanzar su velocidad terminal. Por lo tanto, las gotas más grandes caen más rápido que las gotas más pequeñas. Eventualmente, las gotas grandes superan y chocan con gotas más pequeñas en su camino. Esta fusión de gotas de nubes por colisión se llama coalescencia. Dentro de una nube, puede haber corrientes ascendentes y descendentes, si una corriente ascendente es especialmente fuerte, entonces las gotas de varios tamaños pueden ser empujadas hacia arriba. La coalescencia ahora puede ocurrir a medida que las gotas más pequeñas son empujadas hacia arriba más rápidamente, chocando con gotas más grandes en su camino. Los

estudios de laboratorio muestran que la colisión no siempre garantiza la coalescencia; a veces, las gotas rebotan y se separan durante la colisión (Ahrens & Henson, 2018). Para que se ocasione la precipitación, es necesario que las gotas obtengan un gran tamaño, lo cual en este proceso muchas veces es ocasionado por las partículas de sal que son transportadas por corrientes ascendentes a la atmósfera que forman gotas más grandes en grandes núcleos de condensación; así mismo, las gotas de agua aumentan su tamaño por colisiones aleatorias de gotas (Lutgens et al., 2018).

Las condiciones atmosféricas tienden a ser muy variantes según la ubicación geográfica o la estacionalidad por lo que existen tres diferentes mecanismos por los cuales el aire se eleva provocando la precipitación, y son convectivo, orográfico y frontal. La precipitación por convección (convectivo) es el ascenso de aire húmedo debido a la inestabilidad causada por el calentamiento superficial del aire a nivel del suelo. Este tipo de precipitación es más común principalmente en regiones climáticas ecuatoriales y tropicales, donde los días son muy cálidos y húmedos. Al producirse suficiente calentamiento, la masa de aire se vuelve más cálida y liviana que el aire del entorno circundante y comienza a elevarse, expandirse y enfriarse, lo que provoca la condensación del vapor de agua en gotitas de agua.

Debido a que las corrientes de aire ascendentes son en su mayoría fuertes, el enfriamiento del aire es rápido, lo que permite que mucha agua puede condensarse rápidamente y pueda ocurrir un aguacero repentino. Esta forma de precipitación se caracteriza por estar asociado con tormentas eléctricas; por otro lado, la precipitación orográfica es un proceso meteorológico característico de las regiones montañosas el cual surge cuando las masas de aire provenientes del mar tienen que ascender por encima de una montaña o cadena montañosa. Durante el ascenso de este viento, se produce un enfriamiento del mismo y se incrementa la altitud, lo que favorece la condensación y, por tanto, se produce la precipitación orográfica en el lado de barlovento de la montaña (Spellman, 2013; Spiridonov & Ćurić, 2021).

La precipitación frontal ocurre cuando se encuentran dos masas de aire con diferente temperatura, humedad y densidad del aire. La capa que separa estas masas de aire se la define como frente y este tipo de precipitación se produce cuando un frente cálido se encuentra con un frente frío. La masa de aire caliente, aquella que es más ligera, se mueve hacia arriba y sobre la masa de aire más fría. Posteriormente, se forman las nubes y se ocasionan fuertes precipitaciones (Spiridonov & Ćurić, 2021).

Una vez comprendidos estos conceptos que involucran el proceso de formación de la precipitación, es posible analizar más a detalle este fenómeno meteorológico. Existen diferentes tipos de precipitación, aquellos que tal como se revisó anteriormente, se ocasionan cuando los hidrometeoros formados en la atmósfera, incluidos los líquidos, los sólidos o una combinación de ambos son lo suficientemente grandes como para caer como resultado de la gravedad sobre la superficie de la Tierra desde las nubes. Los hidrometeoros, hacen referencia a cualquier producto de condensación o deposición de vapor de agua atmosférico, ya sea que se forme en la atmósfera libre o en la superficie de la tierra; también, cualquier partícula de agua arrastrada por el viento desde la superficie de la tierra (American Meteorological Society, 2022).

Entre los tipos o fases de precipitación, los más conocidos son la lluvia y la nieve, aunque existen muchos otros tales como neblina, granizo, u otros tipos. Entre las principales diferencias que se evidencian sobre cada uno de los tipos de precipitación existentes, la más importante es el tamaño de la gota de agua y el estado del agua,

aquel que puede ser líquido o sólido (Lutgens et al., 2018). En la siguiente tabla, se indica una tabla con cada uno de los tipos de precipitación y sus características (Spellman, 2013).

**Tabla 2**  
*Tipos de precipitación y sus características.*

<b>Tipo</b>	<b>Tamaño Aproximado</b>	<b>Estado del agua</b>	<b>Descripción</b>
Neblina	0.005 a 0.05 mm	Líquido	Gotas lo suficientemente grandes como para sentir las en la cara cuando el aire se mueve 1 metro/segundo.
Llovizna	Menor a 0.5mm	Líquido	Pequeñas gotas uniforme que generalmente caen durante varias horas.
Lluvia	0.5 a 5mm	Líquido	Generalmente producido por nubes nimbostratus o cumulonimbus. El tamaño de la gota puede variar mucho de un lugar a otro.
Aguanieve	0.5 a 5mm	Sólido	Partículas de hielo pequeñas que se forman cuando las gotas de lluvia se congelan al pasar por una capa de aire bajo cero.
Lluvia helada	Capas de 1 mm a 2 cm de espesor	Sólido	Se produce cuando las gotas de lluvia superenfriadas se congelan al entrar en contacto con objetos sólidos. El glaseado puede formar una gruesa capa de hielo.
Escarcha	Acumulación variable	Sólido	Esta precipitación usualmente consiste en plumas de hielo que apuntan hacia el viento. Estas delicadas acumulaciones de escarcha se forman cuando las gotas de niebla o nubes sobreenfriadas encuentran objetos y se congelan al contacto.
Nieve	1mm a 2cm	Sólido	Se presenta en muchas formas. Y se produce en nubes sobreenfriadas donde el vapor de agua se deposita en forma de cristales que permanecen congelados durante su descenso.
Granizo	5mm o más	Sólido	Precipitación en forma de gránulos duros y redondeados de hielo. Se produce en grandes nubes donde coexisten partículas de hielo congeladas y agua sobreenfriada.

Fuente: Elaboración propia (Basado en Lutgens et al., (2018))

Una vez comprendidos los principales conceptos acerca de la precipitación, es importante conocer los diferentes mecanismos, instrumentos y formas de medición de este fenómeno. El pluviómetro es el principal instrumento utilizado para la medición de la precipitación. Los primeros usos de este instrumento, según la historia, ocurre en los años 400 A.C, y posteriormente, 1400 años después en un manuscrito coreano del siglo XV, se evidencian usos del pluviómetro con fines en la agricultura. Con el paso de los años este instrumento fue cada vez más utilizado en Europa y diferentes lugares del mundo; sin embargo, la primera aproximación a los pluviómetros modernos se realizó en 1722 (Frisinger, 1983). Este instrumento, registra automáticamente la acumulación de lluvia a espacios temporales de aproximadamente 1 minuto o menos. Además, la mayoría de pluviómetros permiten la transmisión y utilización en tiempo real de los datos para la gestión del agua. Es importante mencionar que este instrumento puede tener un margen de error debido a que además de ser un instrumento mecánico, puede verse afectado por diferentes situaciones, tales como la velocidad del viento, características de lugar de ubicación, tipo de precipitación y temperatura (Maidment, 1993).

El pluviómetro estándar tiene un diámetro de aproximadamente 20 centímetros en la parte superior. Una vez que se captura el agua, un embudo conduce la lluvia a través de una abertura estrecha hacia un tubo de medición cilíndrico de solo una décima parte del tamaño del receptor. Posteriormente, la profundidad de la lluvia se magnifica 10 veces, lo que permite mediciones precisas con una aproximación de 0,025 centímetros. Cuando la cantidad de lluvia es inferior a 0,025 centímetros, generalmente se trata de un rastro de precipitación. Existen otros diferentes tipos de pluviómetros los cuales cada uno de ellos tiene sus diferentes usos o limitaciones. Entre los más comunes son el calibrador de cubeta basculante y el de pesaje (Lutgens et al., 2018).

El pluviómetro de cubeta (balde) basculante es uno de los más comunes, y consta de un área de recolección que drena en cubos oscilantes acoplados. Cada vez que se llena un cubo, descarga el agua y luego produce una señal en un circuito eléctrico. Luego, el balde se reemplaza por el otro balde y el proceso se repite. Cada oscilación registrada corresponde entonces a un pequeño volumen de precipitación (Tapiador et al., 2012). El pluviómetro de tipo pesaje recoge y acumula la precipitación en un cilindro, el cual está asentado sobre una balanza de resorte, mediante la cual, a medida que se llena el cilindro, los totales de precipitación se van registrando con un bolígrafo en un papel cuadriculado (Ahrens & Henson, 2018).

Por otro lado, existen otros tipos de instrumentos o mecanismos para medir la precipitación que son los disdrómetros y los radares en tierra. Los disdrómetros son un instrumento relativamente nuevo, y es aquel que además de estimar la precipitación total en un lugar, también estima la contribución relativa de cada categoría de tamaño de gota (DSD) al total y permite conocer más de detalle las propiedades fundamentales del medio que estamos tratando de observar. Los disdrómetros proporcionan un medio para cuantificar la distribución del tamaño de las gotas de lluvia y la física de los hidrometeoros individuales a través de una multitud de tipos de precipitación, escalas temporales y, si se implementan en redes, escalas espaciales. En general, los disdrómetros se pueden subdividir en dos tipos básicos: sensores ópticos y de impacto (Tapiador et al., 2012).

La medición de la precipitación por medio de satélites, en comparación a los diferentes instrumentos, es muy útil y proporciona la principal ventaja de la cobertura que proporciona el radar de una gran área con alta resolución espacial y temporal, aquello que permite obtener información sobre precipitaciones en regiones o lugares que son inaccesibles (Maidment, 1993). Este tipo de medición de la precipitación por radar se originó a mediados de la década de 1940 con el propósito de mapear la lluvia. Hoy en día, se evidencia una gran evolución en las mediciones de precipitación con radares siendo posible realizar estimaciones de lluvia en escalas de 2 km x 2 km. Este instrumento consta de un transmisor que envía pulsos de microondas cortos hacia un objetivo específico, al momento que estos pulsos encuentran el objeto, una fracción de esta energía regresa en un transmisor y se la detecta por medio de un receptor. Posteriormente, la señal recibida se amplifica produciendo una imagen o "eco" del objetivo. Además, es posible obtener la distancia a la que se encuentra el objetivo desde el radar mediante la medición y cálculo del tiempo transcurrido entre la transmisión y la recepción. La intensidad de la precipitación se la identifica a partir del brillo del eco; por lo que, no solo se puede determinar donde es más probable que ocurra la precipitación, sino también su intensidad (Ahrens & Henson, 2018).

El cambio climático, en el ámbito de la precipitación, refleja cambios y afecciones importantes a lo largo del tiempo y más aún en las últimas décadas. El aumento de la industrialización asociado con la urbanización es un gran influyente en las condiciones. Las partículas y aerosoles agregados de los sectores de la industria y el transporte reducen la calidad del aire y la visibilidad y también contribuyen a aumentar la nubosidad y las

precipitaciones (Lutgens et al., 2018). Se evidencia que el cambio climático inducido por el hombre está cambiando la precipitación y el ciclo hidrológico, y especialmente eventos hidrológicos extremos tales como inundaciones y sequías. En primer lugar, los aumentos observados en el vapor de agua han proporcionado una retroalimentación positiva al cambio climático debido a que afectan tanto al efecto invernadero, como al ciclo hidrológico, al incrementar mayor humedad atmosférica para que se alimenten todas las tormentas. En general, ha habido disminuciones en las precipitaciones en los trópicos y subtropical, y aumentos en las precipitaciones terrestres en latitudes más altas. Las disminuciones de precipitación son especialmente evidentes en el Mediterráneo, el sur de Asia y África. En el caso de la sequía extrema también ha aumentado en general a lo largo del siglo XX, pues se demuestra que las áreas de tierras muy secas en todo el mundo se han más que duplicado desde la década de 1970. Por el otro lado, se observan aumentos en las lluvias intensas e inundaciones extremas incluso cuando la precipitación media no aumenta (Trenberth, 2011).

En la investigación realizada por Chimborazo & Vuille (2021) se observa el clima actual del Ecuador y se proyectan cambios futuros en la temperatura y la precipitación para mediados del siglo XXI (2041-2070). Según los resultados obtenidos tras un análisis realizado utilizando datos históricos del clima en el Ecuador se indica que es posible que se experimenten impactos significativos asociados con futuros cambios en el clima. Los resultados de las proyecciones futuras muestran que Ecuador podría calentarse entre 1 o 2 grados Kelvin (°C) adicionales a mediados de siglo en comparación con finales del siglo XX. Este calentamiento depende en gran medida de la altitud, lo que somete a los picos más altos de los Andes al mayor calentamiento futuro. Los cambios de precipitación futura corregidos por sesgo documentan una tendencia de sequía a lo largo de las áreas costeras y un aumento de la precipitación futura a lo largo de las laderas andinas orientales en ambos escenarios.

## **Estacionalidad**

La estacionalidad es un término fundamental para el presente estudio debido a la importancia e influencia que este fenómeno tiene sobre la tierra. En general, la estacionalidad del clima juega un papel fundamental al influir en la persistencia de todos los organismos vivos. Por ejemplo, los cambios estacionales en la precipitación y la temperatura afectan a diferentes componentes del sistema. Los cambios en estas variables conducen además a cambios en la vegetación y los requisitos ecológicos de las plantas y los animales, que a su vez influyen en el tipo y la cantidad de alimentos disponibles para los seres humanos y otros organismos (Kwiecien et al., 2022; Landsberg et al., 1965). Este término, se lo define como el hecho de que algo cambia según una estación o temporada, en donde estos cambios pueden tener comportamientos regulares y predecibles los cuales pueden repetirse en diferentes periodos de tiempo (Dayton, 2008).

En términos más específicos, según Kwiecien et al. (2022) indica en su investigación que se debe usar la referencia de ciclo anual en lugar del ciclo estacional ya que el período es un año, no una estación. Por consiguiente, es importante comprender los conceptos y diferencias entre el ciclo anual de temperatura, el ciclo anual de precipitación, la estacionalidad climática y el ciclo anual de actividades humanas. Primeramente, al ciclo anual de temperatura debido a sus características se lo considera simétrico, sinusoidal y está definido por una amplitud de máximos y mínimos. Y teóricamente, tras un análisis, se infiere que el presupuesto anual de temperatura llega a cero, es decir, que los inviernos más fríos se compensan con veranos más cálidos. Por otro lado, el ciclo anual de precipitación se define por la magnitud y su distribución temporal (cuándo y por cuánto tiempo). Es importante mencionar que hoy en día se considera que el inicio del año hidrológico difiere del inicio del año calendario.



Posteriormente, la estacionalidad climática se forma a partir de la estacionalidad de precipitación y temperatura. Por otro lado, el ciclo anual de actividades humanas tales como búsqueda de alimento, agricultura, migración, entre otros, está fuertemente relacionado con los ciclos de temperatura y precipitación, que influyen en la temporada de crecimiento y la disponibilidad de recursos estáticos y los patrones de movimiento de recursos móviles.

La variabilidad estacional en la tierra viene controlada por la cantidad de radiación solar entrante, la cual llega a diferentes latitudes en diferentes ángulos a medida que la Tierra gira alrededor del sol. (Spellman, 2013). Los cambios en la oblicuidad o inclinación en el movimiento de la rotación de la tierra alrededor del Sol son imprescindibles debido a que cambian el ángulo de insolación durante la rotación de la tierra alrededor del sol. En el caso de que esto no sucediera, existirían gradientes de insolación entre las latitudes, pero no habría cambios estacionales, el día tendría la misma duración en cada latitud. El hemisferio de la tierra que esta inclinado hacia el sol experimenta temperaturas más cálidas y días más largos, a lo que se considera como verano. La amplitud de las diferencias estacionales aumenta con la inclinación.

En el ecuador (línea ecuatorial), la duración del día es aproximadamente constante durante todo el año; por consiguiente, el verano y el invierno tienen la misma duración en ambos hemisferios (Kwiecien et al., 2022).

Otra característica importante de la rotación de la tierra que influye en la estacionalidad es el cambio de forma de la órbita, aquello que se conoce con el nombre de excentricidad e influye en la distancia de la tierra al sol y la duración de las estaciones. La excentricidad de la órbita modula el efecto de la oblicuidad. Las estaciones en el afelio son más frías (más lejos del Sol) y más largas (cuanto más lejos) por lo que la tierra se mueve más lentamente que en el perihelio (más cerca del Sol). La precesión o bamboleo del eje de rotación de la tierra hace referencia a los cambios de la dirección de la inclinación, lo cual determina qué hemisferio se inclina hacia el sol en el perihelio (verano) o lejos del sol en el afelio (invierno) (Kwiecien et al., 2022). Y en la mitad entre estos dos tiempos, aparecen las estaciones de primavera y otoño, donde el eje de giro de la tierra apunta a 90° del sol (Spellman, 2013).

Conocer adecuadamente el lugar de estudio es imprescindible para la determinación de la estacionalidad. Ecuador está ubicado en el continente sudamericano entre el océano Pacífico y la cuenca del Amazonas, ocupando un área de 256370 km<sup>2</sup>; la cordillera de los Andes atraviesa el país en dirección norte-sur y constituye una importante barrera topográfica, con grandes áreas que superan los 4000 msnm y las cumbres más altas alcanzan aproximadamente los 6300 msnm (Morán-Tejeda et al., 2016). Por otro lado, la ciudad de Cuenca, aquella donde se enfoca la presente investigación, está ubicada al sur del Ecuador a una altura de 2550 msnm. El área urbana de la ciudad posee aproximadamente de 85 km<sup>2</sup> y su población es de alrededor 400000 habitantes (Cobo Jerves & Armijo Arcos, 2016).

La determinación de la estacionalidad se la realiza mediante la aplicación de análisis de series temporales, sin embargo, existe gran cantidad de modelos y métodos de aplicar este tipo de análisis tales como procesos estacionarios o no estacionarios, modelos univariantes, modelos multivariantes estacionarios y no estacionarios, entre otros (Gallego Gómez, 2008). Debido a esto, es importante utilizar un modelo estadístico adecuado para la determinación estacional de la temperatura y la precipitación, por lo que, en la sección de metodología se implementará un respectivo análisis de los diferentes modelos.

## Calidad del aire

La calidad del aire es una métrica o indicador la cual viene determinada por las pequeñas cantidades de partículas y contaminantes químicos existentes en el aire en un lugar en particular (Center Of Science Education, 2020). La determinación de este indicador meteorológico está directamente relacionada con la dinámica de la atmósfera y el clima local (Spellman, 2013). Uno de los factores más determinantes es la fuerza de los vientos y su dirección debido a que tienen un efecto considerable en la formación, dispersión y deposición de contaminantes atmosféricos; así mismo, la precipitación, la temperatura, la humedad relativa y otros fenómenos meteorológicos que deben ser considerados para la calidad del aire (Haddad & Vizakos, 2021).

La mayoría de los contaminantes atmosféricos son causados debido a diferentes actividades humanas tales como procesos industriales, plantas nucleares, desechos, medios de transporte, entre otros. Sin embargo, existen contaminantes que son producidos naturalmente y tienen una afección hacia la calidad del aire aquellos que pueden ser las erupciones volcánicas, incendios; y por otro lado, eventos climáticos como vientos sirven como medio de propagación de todo tipo de contaminantes (Ahrens & Henson, 2018; Lutgens et al., 2018). Los datos de calidad del aire son de carácter esencial alrededor mundo debido a que se usan para verificar la situación actual sobre el nivel de contaminación del aire y los riesgos asociados para la salud del público, con el objetivo de minimizar todo tipo de riesgo. Con el paso del tiempo el nivel de contaminación del aire es cada vez mayor, por lo que cada vez es más importante su relación con las afecciones a la salud de los humanos, principalmente asociado a las enfermedades respiratorias. Así mismo, muchos de los contaminantes presentes en el aire son los causantes de que exista nublado el cielo, daños hacia el ecosistema, la propiedad u otros. (Stern et al., 1973).

Comprender todo tipo de afección hacia la calidad del aire es fundamental para su correcta determinación y prevención. El estudio meteorológico realizado por Haddad & Vizakos (2021) es de gran importancia para comprender la influencia de las variables meteorológicas que comprenden la presente investigación debido a que indica cómo el comportamiento de la precipitación o la temperatura influye en la calidad del aire. Los principales contaminantes atmosféricos son las partículas o material particulado (pm), Ozono ( $O_3$ ), Monóxido de carbono (CO), Dióxido de azufre ( $SO_2$ ), Dióxido de nitrógeno ( $NO_2$ ) y Plomo (pb) (Stern et al., 1973) (Albán Crespo et al., 2017).

Existen muchos estudios de casos que demuestran que las diferentes condiciones meteorológicas afectan la contaminación del aire de diferentes maneras, se indica que los factores meteorológicos, en particular la temperatura ambiente y la velocidad del viento, pueden influir en la concentración de pm10 en la atmósfera. Así mismo, se informará que la calidad del aire es peor en primavera y se evidenciaba una mejora en verano, posteriormente tendía a ser más grave en otoño e invierno. Así como, se determinó que es más probable que eventos de alta contaminación de pm10 se produzcan en días sin precipitaciones y temperaturas más bajas (Haddad & Vizakos, 2021).

En el caso particular de la ciudad de Cuenca, la medición está basada en un índice el cual indica una escala de valores que determinan cuando la calidad del aire se encuentra buena o dañina para la salud, y para el presente estudio, se dará uso de un índice determinado específicamente para la ciudad de Cuenca (Albán Crespo et al., 2017).

Tras haber descrito cada uno de estos conceptos, es importante comprender la relación entre cada uno de ellos y la influencia que tienen uno sobre otro. De esta manera, se podrá obtener una comprensión más clara sobre los resultados.

## 2. Revisión de literatura

En el área de la meteorología, en los últimos años, dentro del Ecuador y alrededor del mundo, existe gran cantidad de investigaciones las cuales han sido gran utilidad para determinar y entender el comportamiento climático y sus variantes. Gran parte de estos análisis son de gran importancia para el desarrollo de la presente investigación, entre los cuales (EMOV EP, 2022) realiza un estudio y monitoreo de la calidad del aire la cual, con la ayuda de la Universidad del Azuay y el Instituto de Estudios de Régimen Seccional del Ecuador (IERSE) (Universidad del Azuay, 2022) existe una plataforma de visualización acerca del clima de la ciudad de Cuenca, con indicadores tales como Ozono (O3), Dióxido de Nitrógeno (NO2), entre otros (Sellers Walden & Cabrera Lituma, 2016). Sin embargo, para lograr una comprensión meteorológica más clara que pueda aportar más a la sociedad, es fundamental determinar la estacionalidad de la ciudad. La obtención de estos resultados, permitirán tomar acciones de prevención en muchos ámbitos y así mismo, el mejor entendimiento meteorológico será de gran ayuda para lograr una mayor conciencia ambiental.

Internacionalmente existen muchas investigaciones meteorológicas que estudian los comportamientos de la temperatura, precipitación y muchas otras variables. La investigación realizada por Alfaro et al. (2017) muestra un análisis de predicción mejorada para obtener la estacionalidad de la primera temporada de precipitaciones y sembríos entre los meses de mayo y junio en Centroamérica. La metodología de análisis implementada en este estudio es *Model Output Statistics* (MOS), la cuál es una técnica de post procesamiento estadístico la cual se utiliza para optimizar los resultados directos del pronóstico. Además, esta investigación presenta un gran aporte debido a que denota la importancia de la predicción estacional y el impacto que esto puede tener en diferentes sectores socioeconómicos, en este caso, de Centroamérica, debido a que la mayoría de las ciudades del istmo se encuentran en la vertiente del Pacífico. Un estudio muy similar que mediante la aplicación de un modelo estadístico de reducción de escala que busca obtener el pronóstico estacional de precipitaciones de principios de verano en estaciones del sur de China permite comprender lo fundamental que es la correcta obtención de la estacionalidad y las afecciones que puede causar para la supervivencia humana y el desarrollo social; y de la misma manera el impacto en los sectores de agricultura, gestión de recursos hídricos, energía y transporte (Lu et al., 2020).

El estudio realizado por H. Wang & Fu (2002) que se centra en Sudamérica y estudia la relación entre el flujo transecuatorial y ciclo estacional de precipitación. A partir de la obtención de un índice de viento meridional (índice V), que representa la variación del flujo transecuatorial, se analiza una relación de este índice con la precipitación en escalas de tiempo estacionales y submensuales. Con el objetivo de determinar las tasas de cambio en la precipitación, circulación y sus distribuciones espaciales asociadas con las fluctuaciones en el índice V se implementan un análisis basado en regresiones lineales y se obtienen coeficientes diarios de precipitación en los diferentes sectores de Sudamérica. Posteriormente, se aplica el método de descomposición en valores singulares (SVD), que es capaz de identificar pares de patrones espaciales que describen la máxima covarianza temporal entre la precipitación y la circulación atmosférica. Los resultados demuestran que se logra identificar dos regímenes de circulación atmosférica, un régimen del sur y otro norte. Y por otro lado para cada estación, los patrones espaciales

de precipitación sobre América del Sur son significativamente diferentes en los dos regímenes de circulación atmosférica.

Otra investigación, realizada por Wang et al. (2013) demuestra la aplicación de métodos de series de tiempo estacionales para la obtención de pronósticos para la precipitación. Este estudio mencionado indica la aplicación de un modelo de promedio móvil integrado autorregresivo estacional (SARIMA), que se caracteriza por describir y analizar adecuadamente series de tiempo que demuestran comportamientos no estacionarios. Los datos a analizar dentro de esta investigación realizada en la ciudad de Shouguang datan de 1996 a 2009, sin embargo, estos se dividen en dos partes, primero, los datos mensuales de precipitación, recolectados entre 1996 a 2008 son utilizados para ajustar al modelo al ciclo estacional, y los datos de precipitaciones de 2009, se utilizan para la determinación del pronóstico. Posteriormente, los resultados obtenidos dentro de esta investigación indican las ventajas y desventajas de aplicación de este tipo de modelos. Principalmente, se evidencian fallas en los pronósticos, específicamente al existir datos pasados de series de tiempo anormales. Sin embargo, las previsiones obtenidas dan como ventajas índices cuantitativos y unas bases teóricas para aprovechamientos hídricos en el ámbito de la agricultura.

Una investigación realizada en Colombia en el 2015 se centra en la predicción del clima en escalas interanual y estacional. Dentro de este artículo mencionado, se resalta la importancia que representa la meteorología y sus variables sobre la planificación, gestión y cuidado de los recursos naturales de un país, ya sea para efectos de prevención o aprovechamiento de la sociedad. Debido a esto, se considera fundamental la buena predicción climática para minimizar impactos perjudiciales sobre una ciudad y sus habitantes, por lo que, una adecuada determinación de esta puede ser muy favorable para reforzar el desarrollo socio económico y aprovechar, en un futuro, todos los recursos climatológicos para usos de agricultura, energía u otros. Este estudio referido, inicialmente realiza un análisis, tratamiento y selección de las bases de datos; seguido de este, estudia el comportamiento espacio-temporal de la precipitación y temperatura en un periodo aproximado de 30 años, y posteriormente, mediante la aplicación de métodos tales como Análisis de Componentes Principales (PCA), el Análisis de Descomposición en Valores Singulares (SVD), y el análisis de promedios se realiza un análisis predictivo de los datos. Adicionalmente, esta investigación analiza la influencia del fenómeno de acoplamiento de El Niño/Oscilación del Sur (ENOS), la Cordillera de los Andes y otros factores que afectan la predicción climática (Cordoba Machado, 2015). Así mismo, una investigación desarrollada en Puerto Maldonado, Perú por Aucahuasi (2019) presenta un análisis de tendencias de precipitación y temperatura mediante el uso de datos de 47 años (1970–2017). Los resultados se obtuvieron a partir de la aplicación de diferentes modelos estadísticos y métodos de análisis de series de tiempo tal como regresión lineal simple, modelo de Matt-Kendall y modelo de Pettitt.

Murat et al. (2018) realizan un estudio en 4 diferentes sitios de Europa, cada uno con diferentes condiciones climáticas donde se implementa un pronóstico de series de tiempo meteorológicas mediante la aplicación del promedio móvil integrado autorregresivo (ARIMA) y otros modelos de regresión. Según indican los autores de la mencionada investigación, el modelo ARIMA, en los últimos años es muy utilizado para el modelado de series de tiempo debido a que sus resultados son óptimos en pronósticos para series temporales mensuales y anuales, y es útil para numerosas aplicaciones meteorológicas, ya que permiten comprender los fenómenos meteorológicos de la temperatura del aire y las precipitaciones. La metodología aplicada y los resultados indican cada uno de los diferentes modelos estadísticos aplicados para cada área de estudio y se presenta cuál de estos modelos genera

mejores resultados. Sin embargo, los autores recomiendan que es fundamental el análisis de diferentes modelos estadísticos en este tipo de estudios para evaluar cual se acopla de mejor manera a las condiciones climáticas y morfológicas de un lugar.

Existen muchas investigaciones climatológicas en el Ecuador, aquellas que han sido muy útiles para la comprensión y análisis meteorológicos de la región. Un estudio de mucha relevancia por los autores Blackmore et al. (2021) está basado en el impacto de la estacionalidad y la variabilidad climática en la seguridad de los medios de vida en la parroquia de Guangaje, Cotopaxi, Ecuador. Los resultados de esta investigación demuestran el gran impacto que tiene el cambio estacional para el desarrollo de la agricultura y la subsistencia económica de las habitantes de esta parroquia. Se evidencia que existe una vulnerabilidad causada por la imprevisibilidad de las precipitaciones y el aumento de las temperaturas en relación al cambio climático constante, lo que causa cambios en las temporadas de siembra y pérdidas de sembríos.

Es importante comprender la regionalización de la precipitación en un lugar específico debido a que es el paso previo para el desarrollo de planes de minimización de riesgos como lo pueden ser, las sequías o inundaciones y así mismo, ayuda en la comprensión de los modelos hidrológicos para diferentes áreas productivas. Ilbay-Yupa et al. (2021) realiza una investigación con el objetivo de actualizar la regionalización en el Ecuador, su relación con ENOS, a partir de datos de 215 estaciones meteorológicas en un periodo aproximado de 46 años. La metodología aplicada para este estudio se resume en la aplicación de un modelo de clusterización de *k-means* para diferentes variables como latitud, longitud, altitud, precipitación mensual y precipitación acumulada. Posteriormente, los resultados obtenidos indican una regionalización de 5 zonas homogéneas, de las cuales la ciudad de Cuenca, donde se realiza el presente estudio, se caracteriza por dos estaciones lluviosas, la primera, a partir de febrero a abril y, la segunda, de octubre a diciembre.

Campozano, Tenelanda, et al. (2016) realizan un estudio basado en la comparación de diferentes métodos estadísticos, tales como el modelo estadístico de reducción de escala (SDSM), redes neuronales artificiales (ANNS) y el enfoque de máquinas vectoriales compatibles con mínimos cuadrados (LS-SVM) con el objetivo de determinar un estimado de la precipitación total mensual. Se consideraron datos de aproximadamente 30 años a partir de 5 estaciones climáticas en la cuenca del río Paute en el sur de Ecuador donde el área de estudio comprende 6481 km<sup>2</sup> y su elevación varía desde los 900 a los 4200 m.s.n.m. Posterior al haber realizado cada uno de los análisis, los investigadores del mencionado estudio concluyen que existe bastante similitud en cada uno de los métodos utilizados; sin embargo, se menciona que las estimaciones utilizando SDSM, modelo el cual se basa en una regresión lineal múltiple y un generador de clima estocástico, se acerca más a valores reales observados.

Así mismo, se realiza otro estudio en la cuenca del río Paute, donde los autores Campozano et al. (2016) investigan la precipitación y dinámica de las nubes utilizando productos de nubes satelitales (SCP). Dicho estudio, hace énfasis en la incertidumbre y dificultad de comprensión de los procesos de precipitación debido a la alta variabilidad espaciotemporal de las precipitaciones, causada por las regiones montañosas de la Cordillera de los Andes, y, además, la escasez de redes de monitoreo. La realización del mencionado estudio se basa en 2 fases, siendo la primera una delineación de los regímenes de precipitación en toda la cuenca, con base en productos de nubes y datos GIS. Dicha fase, se la realizó a partir de una normalización de los regímenes de precipitación, agrupando aquellas estaciones con estacionalidad similar, lo que ayuda a obtener un patrón de precipitación más claro para cada uno de los regímenes establecidos. Seguido de este, se definen tres diferentes tipos de regímenes

estacionales del área de estudio utilizando variables derivadas de satélites. Posteriormente, se aplica un modelo de precipitación basado en análisis de componentes principales (PCA) y la implementación de un modelo de regresión lineal múltiple de precipitación para generar delineación de estacionalidad; y, por último, se evalúa por píxeles la regionalización obtenida. Finalmente, la siguiente fase de la metodología de este estudio mencionado es la determinación de la dinámica de las precipitaciones y relación con la dinámica de las nubes y su orografía.

Una investigación muy relevante para el presente estudio se atribuye a los autores Quishpe-Vázquez et al. (2016), donde se determina la variabilidad estacional en los caudales de los ríos en el Ecuador en los años 1964 a 2014. Este estudio mencionado indica la importancia de la comprensión de la dinámica de los caudales, tal como su proveniencia, tipos y relevancia sobre el clima. Se realiza un control de calidad sobre 26 estaciones climáticas localizadas sobre 25 ríos diferentes de Ecuador, donde se valida la mayor completitud de datos. Posteriormente, se obtiene un promedio mensual de caudal para cada estación lo cual permite una comprensión inicial sobre cada una de las cuencas y la cantidad de agua disponible sobre cada una de ellas en cada uno de los meses del año. A continuación, la evaluación de las tendencias se determinó mediante la aplicación el modelo no paramétrico de Mann-Kendall y para obtener la magnitud de cada una de las tendencias se utilizó el método de pendiente de Sen. Los resultados obtenidos en esta investigación referida fue que el comportamiento estacional seco y húmedo de la precipitación se presenta en el Ecuador durante un periodo de tiempo.

Tobar & Wyseure (2018) desarrollan una investigación en Ecuador cuyo objetivo es la clasificación de patrones estacionales de lluvia, su relación con ENOS y las tendencias de lluvia. Este estudio citado resalta la importancia que tienen los estudios meteorológicos en el Ecuador debido a que tienen gran influencia sobre la disponibilidad de recursos hídricos para uso doméstico, riego, control de inundaciones y energía hidroeléctrica. Los autores mencionan la complejidad de estos estudios debido a la influencia de las corrientes marinas, la compleja topografía de la Cordillera de los Andes y debido a que Ecuador está ubicado en la zona de convergencia intertropical (ITCZ). Como indica la investigación referida, es muy común encontrar datos de precipitación con errores sistemáticos, valores atípicos y datos faltantes aquellos que son causados a partir de distintas causas no climáticas, como la reubicación de las estaciones. Debido a esto, es fundamental para el presente estudio la corrección de errores y el tratamiento previo de los datos. Tras el análisis de la influencia de ENOS, la investigación referida menciona que la implementación de una regresión basada en mínimos cuadrados se ve influenciada por valores atípicos, es decir, los eventos meteorológicos causados por ENOS (El niño) tienen un gran impacto al causar tendencias de lluvia incorrectas. Por otro lado, los autores mencionan que dos de los métodos más comunes para la detección de tendencias de series de tiempo son la regresión lineal simple paramétrica o la detección de tendencias monótonas mediante un método no paramétrico como la pendiente de Sen.

Previo a la realización de análisis meteorológicos en base a la temperatura, es imprescindible la comprensión de los lapsos o tasas de caída máximos y mínimos de la temperatura del aire en un lugar específico. Debido a esto, los autores Navarro-Serrano et al. (2020) realizan un estudio para establecer estos lapsos en la región andina de Ecuador y Perú. Estos lapsos de temperatura son muy variables espaciotemporalmente debido a diferentes variables o factores tal como la ubicación geográfica, ambiental, ENOS, entre otros. La temperatura del aire de regiones que poseen topografía compleja tiende a ser muy variante a partir desde pequeñas distancias, por lo que este mencionado estudio recalca la importancia del uso de una amplia red de estaciones meteorológicas que

permitan un análisis adecuado de los datos. Debido a esto, es necesario un correcto tratamiento de los datos mediante la aplicación de un protocolo de control de calidad y homogeneización.

Bustamante Campoverde (2018), en su investigación en la ciudad de Cuenca, Ecuador, realiza un análisis de la isla de calor urbana (ICU). Este estudio permite comprender de forma más clara el comportamiento climático en la zona rural de la ciudad de Cuenca debido al análisis morfológico y sus afecciones sobre la temperatura. Según se indica, este artículo analiza la información de la red de estaciones climáticas a lo largo del año 2015 al 2017 tomando en cuenta variables climáticas tales como la temperatura, precipitación y humedad relativa. Los resultados de esta investigación demuestran que, a partir de la aplicación de mapas de calor mediante el uso de información de varias estaciones, el área rural de la ciudad de Cuenca, debido a que se encuentra en menor altitud al área urbana, se intensifica el calor urbano aproximadamente por un promedio de 3°C.

Por otro lado, la investigación realizada por Cobo Jerves & Armijo Arcos (2016) presenta un análisis y revisión de la red de monitoreo de calidad del aire en la ciudad de Cuenca, Ecuador; aquella que permite entender de mejor manera como está conformada la red de monitoreo de la ciudad y cada una de sus estaciones. Debido a que la presente investigación se realizará en la ciudad de Cuenca, es imprescindible comprender cómo se encuentra estructurada la red de monitoreo, lo que, por consiguiente, permitirá una mejor obtención de resultados y una adecuada interpretación de los mismos. Además, el presente estudio, mediante la determinación de la estacionalidad y los respectivos análisis a realizar, permitirá establecer indicadores de calidad de aire que den a entender de forma más clara su estado, comportamiento y afecciones, por lo cual se podrá tomar acciones respectivas.

Como se ha mencionado anteriormente, existen diferentes métodos estadísticos para determinar la estacionalidad climática, y, por ende, es indispensable para el presente estudio determinar y utilizar el método más adecuado que se adapte a la geografía, morfología y condiciones climáticas del área de estudio. Previamente se han analizado diferentes estudios similares a la presente investigación donde se realizan implementaciones metodológicas diferentes en función de obtener la estacionalidad climática con diferentes objetivos, y tal como se ha podido evidenciar, muchos de estos estudios implementan métodos o modelos estadísticos basados en diferentes tipos de regresiones. El autor (Terzi, 2012) realiza un estudio donde se implementa un análisis de diferentes métodos estadísticos para la determinar la estimación de lluvia mensual a partir de 4 estaciones meteorológicas ubicadas en Isparta, Turquía. Se utilizaron datos mensuales de precipitación desde 1964 hasta 2009. Con el objetivo de determinar la estimación de la precipitación en el mencionado estudio, se utilizaron diferentes algoritmos y métodos de data-mining tal como tabla de decisión, KStar, regresión lineal simple y múltiple, M5'Rules, Multilayer Perceptron, RBF Network y Random Subspace. Al comparar cada uno de los resultados obtenidos por cada uno de estos diferentes métodos acerca de la estimación mensual de precipitación, el modelo de regresión lineal múltiple tiene resultados más apropiados que los demás modelos desarrollados en este estudio.

Una investigación reciente, similar a la mencionada anteriormente, realizada por Mudelsee (2019) implementa una revisión de diferentes métodos de análisis de tendencias de series temporales climáticas. Tal y como mencionan los autores, los métodos estadísticos existentes utilizados para la estimación de tendencias se acoplan a diferentes condiciones y son desarrollados adecuadamente, pues contemplan curvas lineales, puntos de cambio, aumentos o variaciones aceleradas y otros comportamientos no lineales y descripciones no paramétricas. Dentro de esta mencionada investigación se toman en cuenta diferentes métodos de regresión tal como la regresión

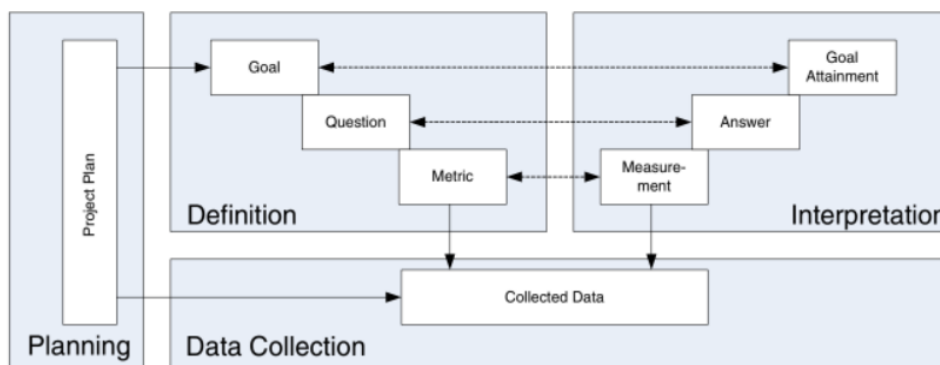
lineal, regresión no lineal y la regresión no paramétrica y se evalúan cada uno de ellos para su aplicación en las estimaciones climatológicas. El citado estudio evalúa y determina cual de cada uno de los métodos es el más adecuado para la estimación de tendencias; sin embargo, los resultados obtenidos son evaluados sobre una base de datos de aproximadamente 138 años de la temperatura global de la superficie, basada en datos terrestres y oceánicos. Los autores mencionan que no existe una regla sobre qué modelo se debe implementar y que el modelo seleccionado depende de los datos a ser evaluados; sin embargo, se aconseja “jugar” con cada uno de los modelos estadísticos y sus parámetros, para posteriormente observar la sensibilidad y precisión de los resultados.

Como se ha revisado, existen varias investigaciones las cuales tienen un patrón similar en cuanto a la temática de la investigación y los métodos utilizados. Gracias a cada uno de los estudios nombrados dentro de este apartado, consideramos que todos ellos son de apoyo esencial para el desarrollo de la actual investigación, pues dentro de ellas hemos podido encontrar temas relacionados y de igual manera, tanto resultados positivos como negativos de los cuales hemos recuperado información valiosa que será de gran ayuda. Con el fin de obtener los resultados esperados y lograr determinar el cambio estacional y sus efectos sobre la calidad del aire dentro de la ciudad de Cuenca, dentro de la presente investigación se utilizará el método de regresión lineal para el respectivo análisis a realizar, lo cual permitirá la obtención resultados que nos ayuden a comprender de mejor manera el clima y sus variantes.

### 3. Métodos

La presente investigación propone una metodología basada en el Modelo de Goal, Question, Metric de Koziolk, (2008), la cual plantea una manera de cumplir los objetivos de la investigación en 4 fases que son planificación, definición, recopilación de datos e interpretación.

**Figura 1**  
*Las 4 fases de la Metodología GQM.*



Fuente: Basado en el autor Koziolk, 2008.

En la primera fase, la planificación, se establece un plan de proyecto donde se identifica y se caracteriza el proyecto o proceso a realizar y su estructura. Además, se realiza un cronograma de medición, actividades y personas involucradas para el desarrollo de la investigación. A continuación, la fase de definición permite definir los objetivos a medir dentro del proyecto. Para esta fase, se establecen metas, preguntas y métricas, las cuales permiten obtener como resultados un plan GQM, un plan de medición y de análisis.

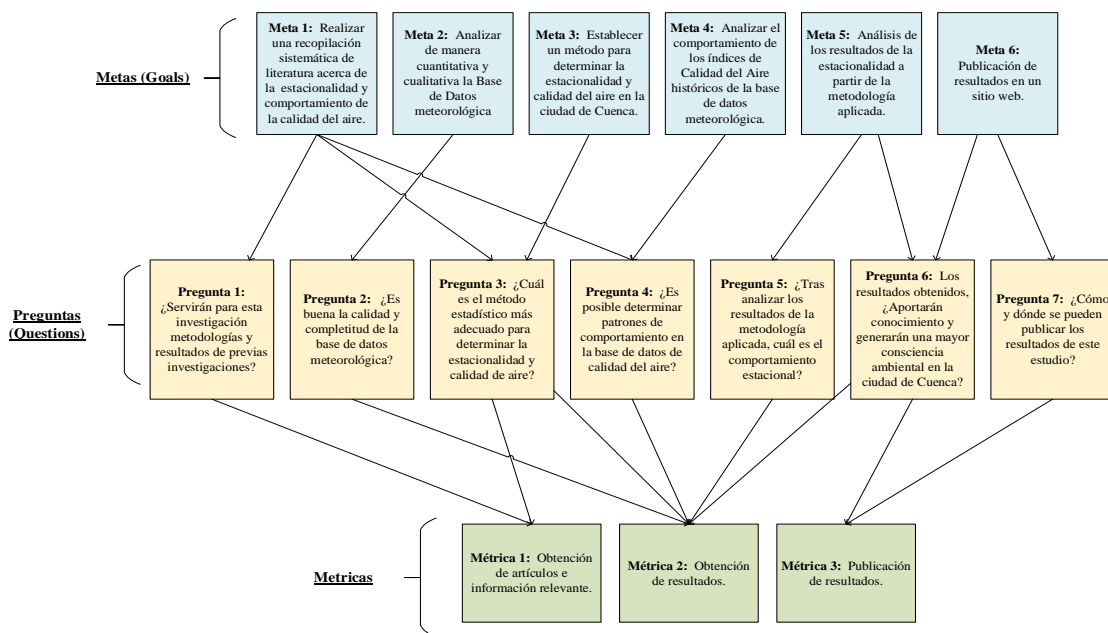
El desarrollo de la medición se la realiza en la fase de recopilación de datos, la misma que puede ser llevada a cabo de forma manual o electrónica, implementando métodos de recopilación de datos automatizadas, estadística



y herramientas de visualización. La última fase, la interpretación, es donde los datos de la investigación se procesan acorde a la metodología determinada y de acuerdo a las métricas definidas para obtener las mediciones. Posteriormente, estas mediciones ayudarán a responder las preguntas planteadas y permitirán determinar si se han alcanzado los objetivos iniciales.

Dentro de esta investigación, para la primera fase de desarrollo de la metodología, se realiza a partir de la planeación de la presente investigación. A continuación, en la siguiente figura, se indica cómo se aplicó la segunda fase de la mencionada metodología mediante el establecimiento de metas, preguntas y métricas que muestran un plan de medición y análisis del proyecto.

**Figura 2**  
*Metodología GQM.*



Fuente: Elaborado por el autor

En la siguiente fase de la metodología, que hace referencia a la recopilación de datos, se ha procedido a obtener la respectiva información de cada una de las estaciones meteorológicas existentes en la ciudad de Cuenca. Esta información recolectada está basada en datos meteorológicos en un periodo desde enero de 2017 hasta diciembre de 2021 y comprende datos acerca de diferentes variables meteorológicas tal como temperatura del aire, precipitaciones, presión atmosférica, entre otros. Posteriormente, para la obtención de cada una de las métricas, se deben ir respondiendo a cada una de las preguntas planteadas.

Tal cómo se revisó en la sección anterior, se pudieron encontrar diferentes investigaciones locales e internacionales, que proveen información muy relevante y que aporta de gran manera el avance del presente estudio. Principalmente, se han recopilado datos de investigaciones cuyo objetivo está relacionado al análisis de comportamientos meteorológicos y el establecimiento de la estacionalidad. Debido a esto, y de acuerdo a lo que se menciona en la sección de Revisión de Literatura, para la obtención de los resultados de la presente investigación, se utilizará el método estadístico de regresión lineal. A continuación, se hará referencia al método a ser utilizado.

Debido a la temática de la investigación, en la cual se tomarán en cuenta datos de diferentes variables meteorológicas, se utilizará el enfoque de regresión lineal multivariable. En primer lugar, se define a una regresión como una técnica estadística para investigar y modelar la relación entre variables. Así mismo, la regresión estudia cómo cambia la variable de respuesta **Y** con el valor de un vector **X**. Este método estadístico es muy versátil pues tiene aplicaciones numerosas en muchos campos, tal como ingeniería, física y química, economía, entre otros, y se la considera como uno de los métodos más utilizados (Montgomery et al., 2012).

El primer lugar, definimos a la regresión lineal simple como un modelo con un solo regresor **X** que tiene una relación con una respuesta **Y** que se representa en una línea recta. La ecuación para la regresión lineal se la define a continuación:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon$$

La variable **Y** también es una variable aleatoria, aquella que será estimada, y la variable **X**, es aquella que representa la variable conocida, es decir, los datos. La variable  $\varepsilon$  representa el valor de error aleatorio. Los parámetros o coeficientes de regresión,  $\beta_0$  y  $\beta_1$ , donde el primero ( $\beta_0$ ) es una variable de intercepción y el segundo ( $\beta_1$ ) hace referencia a la pendiente, son valores desconocidos que necesitan ser estimados. Estos coeficientes son fundamentales para la aplicación de una regresión lineal; la pendiente  $\beta_1$  es el cambio en la media de la distribución de **Y** producido por un cambio unitario en **X**. En el caso que el rango de datos sobre **X** incluye  $X = 0$  entonces la intersección  $\beta_0$  es la media de la distribución de la respuesta **Y** cuando  $X = 0$ . Por otro lado, si el rango de **X** no incluye cero entonces  $\beta_0$  no tiene interpretación práctica (Montgomery et al., 2012).

La regresión lineal múltiple o multivariante es un método para modelar relaciones lineales entre dos o más vectores o variables aleatorias, como lo podría ser **X** e **Y**. Así mismo, se entiende a la regresión múltiple a un modelo de regresión cuando tiene más de una variable regresora (Montgomery et al., 2012). La aplicación de este método estadístico tiene diferentes usos, como lo puede ser la predicción el vector **Y** dado **X**. Así mismo, se pueden probar hipótesis sobre la relación entre **X** e **Y**; y permite obtener proyecciones del vector **Y** en series de tiempo prescritas o patrones espaciales del vector **X** (DelSole & Tippett, 2022). Con el objetivo de comprender más a detalle el funcionamiento de este método estadístico y su estructura se explicará la siguiente en relación a la presente investigación: la variable que se debe determinar es la estacionalidad (variable dependiente o variable de respuesta) y las variables que la determinan son la precipitación y la temperatura (variables independientes o variables predictivas). Las ventajas que permiten la utilización de este método son que permite obtener una estimación de los valores de las variables dependientes a partir de los valores observados de las variables independientes. Así mismo, se pueden identificar diferentes factores de riesgo de pronóstico que influyen en el resultado y se pueden determinar los pronósticos individuales. Y por último, permite comprender la relación entre las diferentes variables analizadas (Schneider et al., 2010).

La ecuación de la regresión lineal múltiple suponiendo que la variable de respuesta **Y**, y al menos una variable predictor **X<sub>i</sub>** son cuantitativas, se la define de la siguiente manera:

$$Y_i = X_{i,1}\beta_1 + X_{i,2}\beta_2 + \dots + X_{i,p}\beta_p + \varepsilon_i$$

Siendo  $i = 1, \dots, n$ . En este caso, interpretado anteriormente,  $n$  es el valor o tamaño de la muestra y la variable aleatoria  $\varepsilon_i$  es el  $i$ -ésimo error. Sin embargo, suprimiendo  $i$ , se puede indicar a este modelo como:

$$Y = X|\beta + \varepsilon$$

Y, donde  $\mathbf{Y}$ , es un vector de  $n \times 1$  de variables dependientes;  $\mathbf{X}$  es una matriz de  $n \times p$  de predictores;  $\beta$  es un vector  $p \times 1$  de coeficientes desconocidos y  $\varepsilon$  es un vector  $n \times 1$  de errores desconocidos. Dentro de esta investigación, se puede inferir el uso de la precipitación y la temperatura como las variables predictoras, y a la estacionalidad como la variable de respuesta (Olive, 2017).

#### 4. Resultados

Una vez que, hemos puesto en práctica la metodología planteada y la experimentación, se han obtenido los resultados correspondientes a los objetivos planteados. En primer lugar, es importante comprender la estructura de los datos y analizarlos adecuadamente para establecer un punto de partida en la investigación.

Los datos utilizados están estructurados por registros de precipitación y temperatura recolectados cada hora a partir de 01/01/2017 hasta 31/12/2021. Tal y como indica la Tabla 2, cada registro recolectado por la estación climática está compuesto por la Fecha y Hora de la captura de los datos, tres registros de temperatura (Mínima, Máxima y Promedio) en grados Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ) y un valor acumulado de la precipitación ( $\text{mm}^3$ ). Posteriormente, tras la realización del respectivo análisis acerca de la completitud de la información, se puede evidenciar un porcentaje significativo de nulidad de los datos. La Figura 3 muestra la completitud de la información de precipitación y temperatura respectivamente, y su distribución en el tiempo; se puede visualizar que un 31.7% de los datos analizados son nulos. Sin embargo, debido a que los datos son obtenidos a partir de una estación climática automática, estos son muy precisos, por lo cual es válido el análisis respectivo sobre los mismos y la confianza de los resultados.

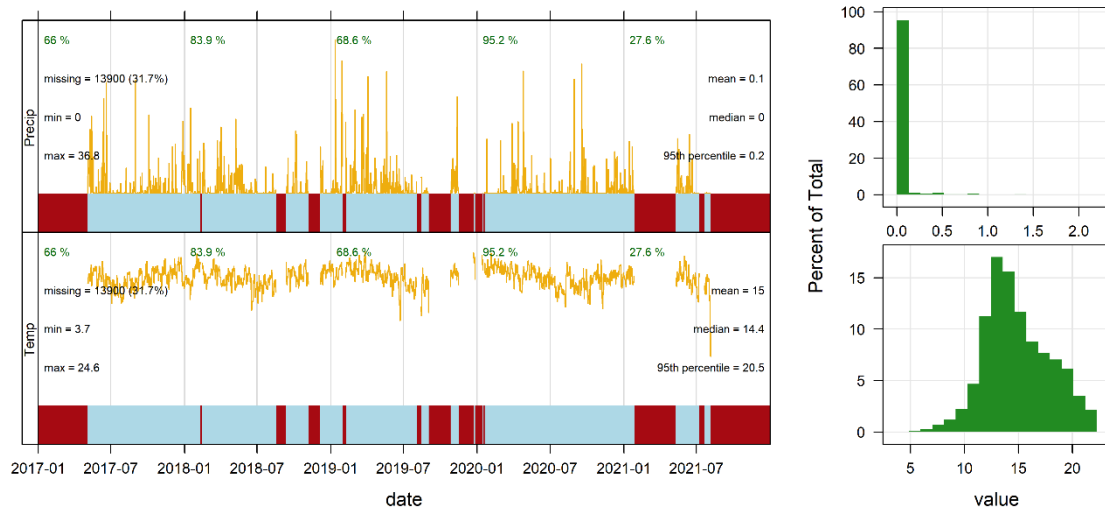
En el proceso de análisis de los datos, y con el fin de obtener resultados más precisos, no han sido tomados en cuenta los datos nulos antes mencionados. Así mismo, cabe recalcar que los datos de cada una de las variables que se indican en la Tabla 3 se encuentran normalizados, lo cual, al momento del análisis de los datos, permite obtener una estacionalidad más clara y marcada en la ciudad de Cuenca. Por otro lado, en la Figura 3, se indica también, valores máximos y mínimos de los datos de precipitación y temperatura, medias, medianas y percentil al 95%. Cada una de estas estadísticas representa información general y rápida, aquella que indica la estructura inicial de los datos.

**Tabla 3**  
*Diccionario de datos.*

<b>Campo</b>	<b>Tipo de Dato</b>	<b>Descripción</b>
Fecha y Hora	Marca de tiempo ( <i>Timestamp</i> )	Fecha y hora de la captura de los datos.
Temperatura Mínima	Numérico	Valor mínimo de la temperatura del aire. Se presenta en grados Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ).
Temperatura Máxima	Numérico	Valor máximo de la temperatura del aire. Se presenta en grados Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ).
Temperatura Promedio	Numérico	Valor promedio de temperatura del aire. Se presenta en grados Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ).
Precipitación Acumulada	Numérico	Valor acumulado de precipitación. Se presenta en milímetros ( $\text{mm}^3$ )

Fuente: Elaborado por el autor

**Figura 3.**  
Resumen gráfico y numérico de los datos.



*Nota:* Se indican estadísticas resumidas de los datos y se puede visualizar la presencia/ausencia de localización de los datos a lo largo del tiempo.

Fuente: Elaborado por el autor

Previo a la implementación de análisis más detallados de cada variable para la obtención de los resultados, se realiza un análisis acerca de la normalidad de los datos, correlación de las variables y su significancia, con el objetivo de obtener e interpretar de manera más clara los datos y posteriormente, cada uno de los resultados. La Figura 4 presenta un análisis de normalidad de precipitación y temperatura respectivamente, para lo cual los estadísticos indican que los valores de temperatura tienen una distribución normal, sin embargo, no es el caso de la precipitación pues no se cumple una normalidad en la distribución de los datos.

Seguido de este, se ha determinado la correlación entre las variables de precipitación y temperatura mediante el coeficiente de correlación de Pearson, la cual es una métrica o medición de la estadística que varía entre -1 y 1, y que mide la fuerza (relación) y la dirección entre dos variables aleatorias (Benesty et al., 2008). El resultado de la correlación entre la temperatura y la precipitación es de  $-0.02947773$ . Al ser un valor menor a 0, se demuestra una relación lineal de sentido inverso, es decir, el incremento de la una variable causa disminución en la otra. Sin embargo, debido a que el valor es negativo pero muy cercano a 0, se puede inferir que hay una relación lineal leve entre las variables. Esto hace referencia a que, aún al ser una relación lineal leve, al incrementarse la precipitación, la temperatura disminuirá.

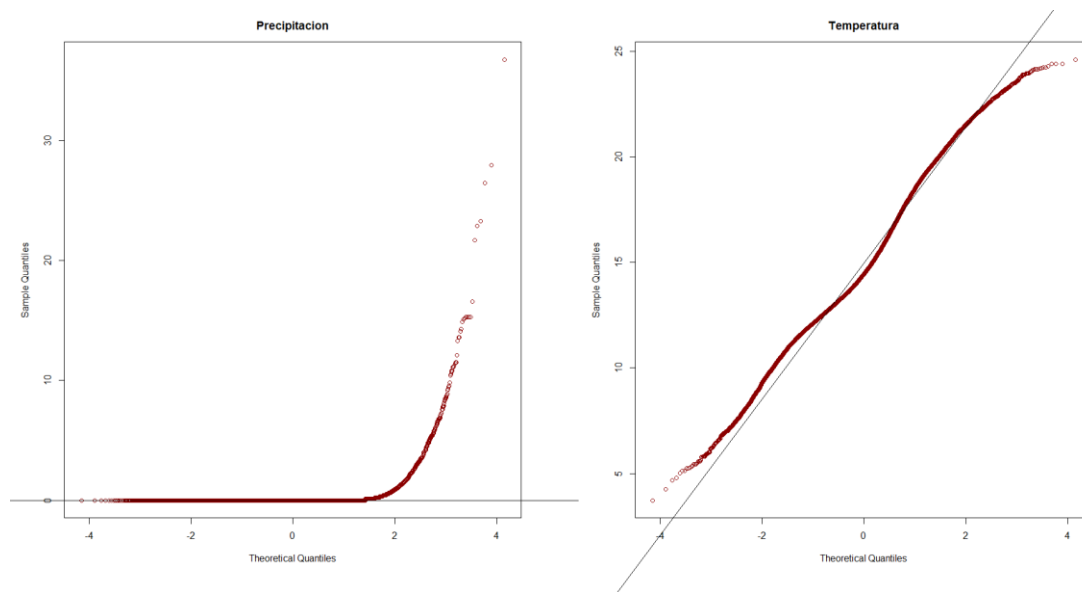
Por otro lado, se implementa un análisis de normalidad sobre cada una de las variables para obtener un coeficiente de significancia, que indique la existencia de una distribución normal de los datos y una relación entre las variables analizadas. Para llevar a cabo este análisis, se utiliza el test de Kolmogórov-Smirnov, aquel que permite determinar si una muestra proviene o no de una determinada distribución; y así mismo, se valida la significancia de los datos mediante el *p-value* (Berger & Zhou, 2014; Massey, 1951). El objetivo de aplicar este análisis es debido a la necesidad de validar la normalidad de los datos de las variables de precipitación y temperatura. La interpretación de los resultados de este test se centran en el *p-value*, este, que al ser menor a 0.05 indica que los datos no provienen de una distribución normal, lo que permite inferir que los datos no son

paramétricos; caso contrario, un *p-value* mayor o igual a 0.05 indica una distribución normal de los datos y, por consiguiente, se infiere que son paramétricos (Hanusz & Tarasińska, 2015; Q. Liang et al., 2020).

El resultado obtenido de la significancia en el caso de la variable de precipitación provee un *p-value*  $< 2.2e-16$ , lo que indica una distribución anormal de los datos, aquello que es visible en la Figura 4. Posteriormente, al implementar este análisis sobre la variable de temperatura evidenciamos lo contrario, es decir, se ha obtenido un *p-value* = 0.1213, aquello que indica una distribución normal de los datos. En el ámbito climático, estos resultados permiten comprender la variabilidad de las variables analizadas; principalmente, en el caso de la precipitación, donde podemos evidenciar muy claramente su comportamiento anormal.

#### Figura 4.

*Gráfico de análisis de normalidad de la precipitación y temperatura.*



Fuente: Elaborado por el autor

Con el objetivo de obtener una mayor comprensión sobre los datos y los resultados, se han realizado diferentes gráficas y análisis en R Studio, aquellos que permiten obtener una mayor comprensión sobre los datos analizados. En este sentido, corresponde ahora poner en conocimiento las gráficas, aquellas que reflejan el comportamiento de las variables de precipitación y temperatura, y, por consiguiente, desarrollar un análisis de estos resultados.

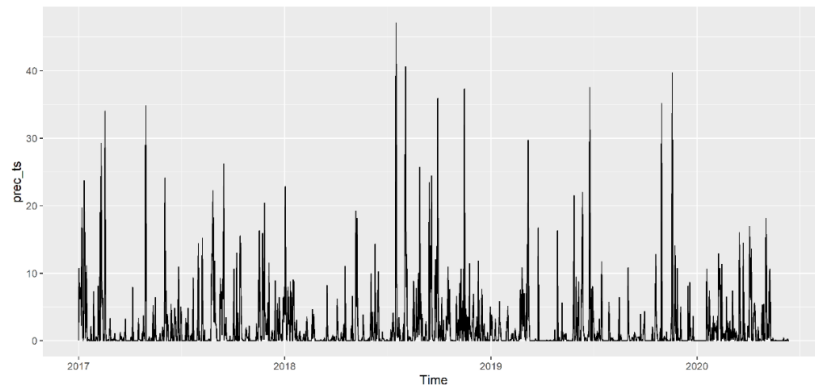
A partir de diferentes agrupaciones de los datos, ya sean diarias, mensuales o anuales, y mediante la implementación de análisis estadísticos sobre las variables de precipitación y temperatura es posible determinar el comportamiento estacional en un periodo de tiempo. Inicialmente, la Figura 5 indica un análisis del comportamiento de la precipitación, el cual se obtiene mediante la sumatoria de la precipitación diaria a lo largo de todos años analizados. Esta gráfica mencionada anteriormente permite comprender, en primera instancia, el comportamiento de la variable de precipitación que como se puede visualizar indica una primera muestra la tendencia de la serie de tiempo.

Así mismo, en la Figura 6, podemos ver una interpretación similar, pero en relación con la variable de temperatura. Sin embargo, cabe recalcar que, en el caso de la temperatura, se ha obtenido la mediana de los datos diarios para evitar que datos de temperatura promedio por hora del día, aquellos que sean muy bajos o altos afecten

el comportamiento real de esta variable. Tal y como la Figura 5 y 6 demuestran, se puede visualizar comportamiento similar anual para cada una de las variables.

**Figura 5.**

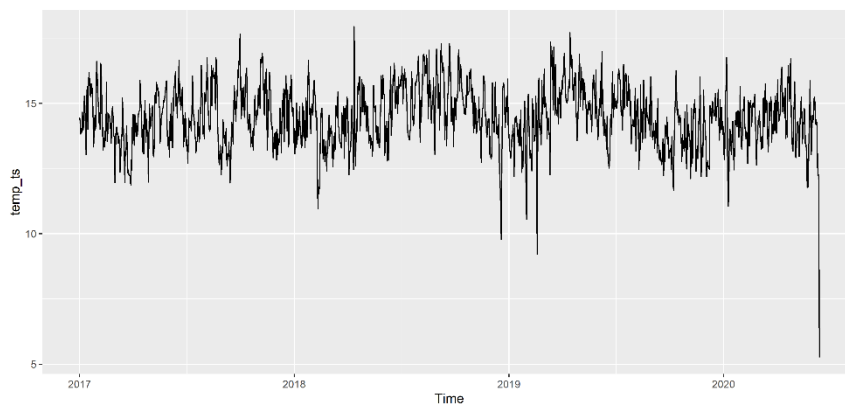
*Variación diaria de la precipitación acumulada*



Fuente: Elaborado por el autor

**Figura 6.**

*Variación diaria de la mediana de la temperatura.*

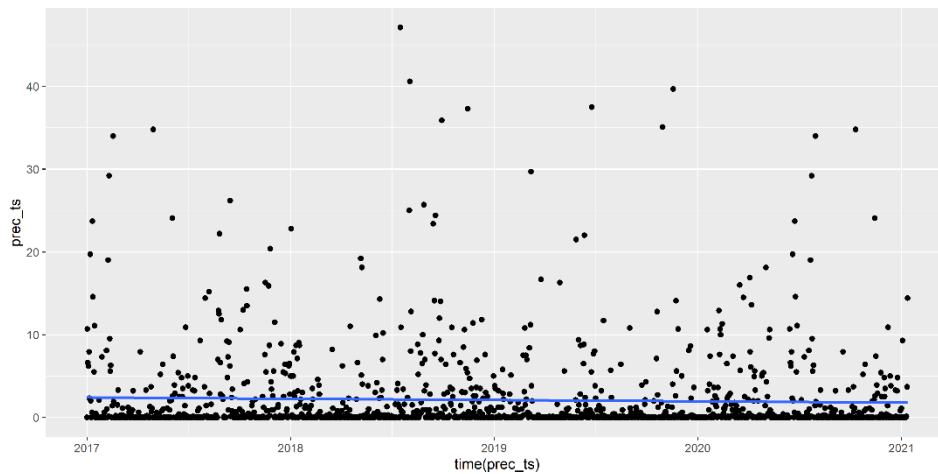


Fuente: Elaborado por el autor

Para comprender el comportamiento de las variables más a detalle, se ha considerado importante la implementación de gráficos de dispersión, que indican la intensidad de relación entre las variables meteorológicas y el tiempo. De esta manera, se puede inferir cada vez más en el comportamiento de las variables analizadas y comprender su variación con respecto al tiempo. A continuación, las Figuras 7 y 8, indican este análisis estadístico mencionado anteriormente y tal como se menciona, permite comprender de manera clara la evolución y comportamiento de las variables meteorológicas.

### Figura 7.

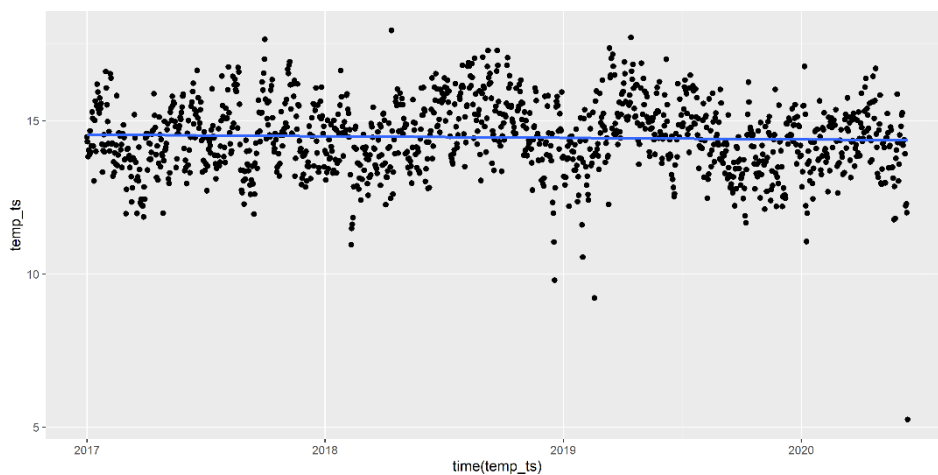
Gráfico de dispersión de la precipitación acumulada a lo largo del tiempo de los datos.



Fuente: Elaborado por el autor

### Figura 8.

Gráfico de dispersión de la mediana de la temperatura a lo largo del tiempo de los datos.



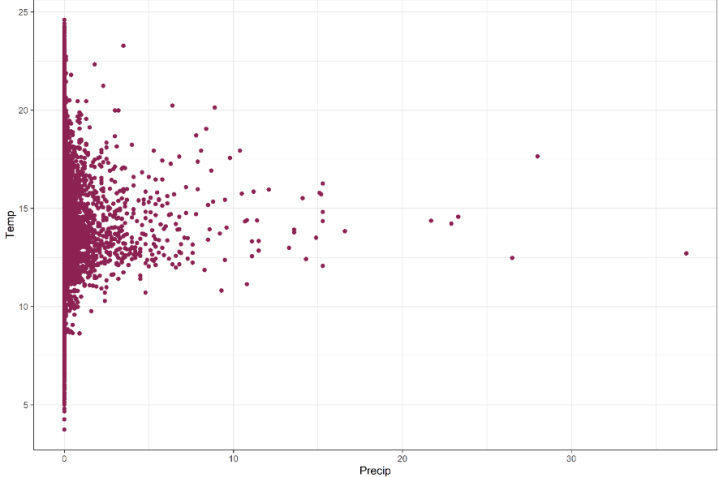
Fuente: Elaborado por el autor

Las Figuras 7 y 8, indican más a detalle el comportamiento de los datos y cómo estos se distribuyen y varían en el tiempo. Además, tal como se lo puede visualizar, existe un comportamiento similar de las variables según pasa el tiempo y se demuestra la distribución de la intensidad o concentración de la precipitación en el tiempo, aquello que es indispensable para una adecuada determinación de la estacionalidad y comprensión previa de los datos. De la misma manera, según lo que las gráficas demuestran, existen muy pocos valores que se encuentran fuera de lo común, lo que demuestra un comportamiento estacionario de los datos. Sin embargo, con la finalidad de establecer una estacionalidad, es necesario aplicar una regresión lineal para cada una de las variables meteorológicas analizadas y posteriormente una regresión lineal múltiple que indique la relación entre las variables de precipitación y temperatura a lo largo del tiempo analizado.

Tras analizar independientemente los comportamientos de cada una de las variables a analizar, la Figura 9, presenta un inicial análisis de la relación que mantienen las variables de precipitación y temperatura. La Figura 9 es indispensable para este estudio, debido a que, a través de un gráfico de dispersión se evidencia el comportamiento de la precipitación según la temperatura, o viceversa. Gracias a esto podemos inferir los valores

aproximados de temperatura (°C) sobre los cuales es más probable que se ocasione el fenómeno de precipitación. De esta manera, podemos decir que en la mayoría de las veces que se presenta la precipitación en la ciudad de cuenca, la temperatura oscila aproximadamente entre los 10 y 20 grados Celsius.

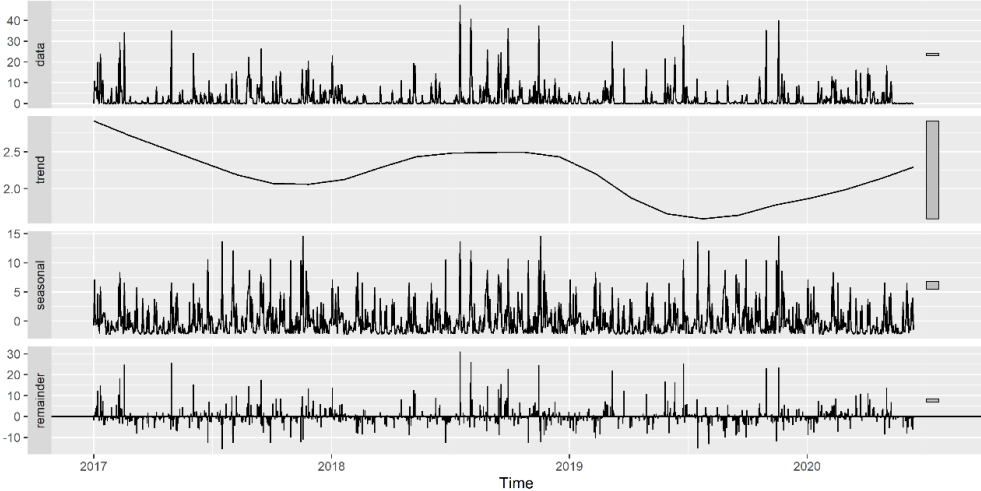
**Figura 9.**  
*Gráfico de dispersión de precipitación (eje X) y temperatura (eje Y) a lo largo del tiempo de los datos.*



Fuente: Elaborado por el autor

A continuación, las Figuras 10 y 11, que representan la descomposición de las series de tiempo para la precipitación y temperatura respectivamente. Ambas figuras mencionadas, son el paso inicial para el análisis estacional de cada variable; y como lo podemos ver, en el caso de la Figura 10, que representa la precipitación, se demuestra una tendencia que permite comprender la evolución de esta variable en el tiempo de los datos, aquella que indica una curva con un comportamiento sinusoidal continuo. Así mismo, vemos en la Figura 10, la descomposición estacional de los datos de precipitación y se demuestran oscilaciones y una periodicidad de ocurrencia de precipitación similar con el paso de los años.

**Figura 10.**  
*Descomposición de la serie de tiempo de precipitación.*

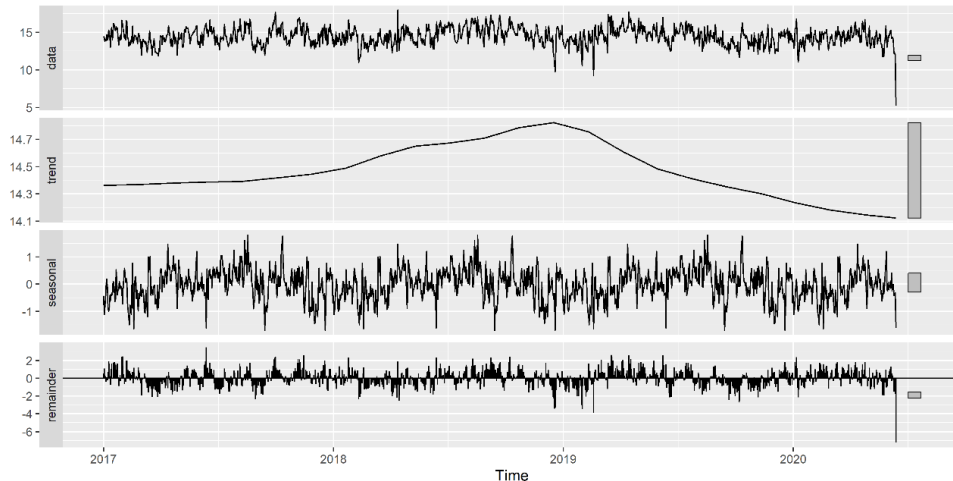


Fuente: Elaborado por el autor



En el caso de la Figura 11, de la misma manera, podemos visualizar la tendencia que representa el patrón de comportamiento de la temperatura durante la serie de tiempo de los datos, aquella que indica un ligero aumento de la temperatura del aire en el año 2019; sin embargo, podemos ver que en el resto de la serie de tiempo la tendencia de temperatura se mantiene en valores similares. Seguido de este, el componente estacional nos demuestra que, con paso de los años, existen patrones similares de comportamiento de la temperatura a partir del año 2017 a 2021, aquello que es de gran ayuda previo a la determinación de la estacionalidad.

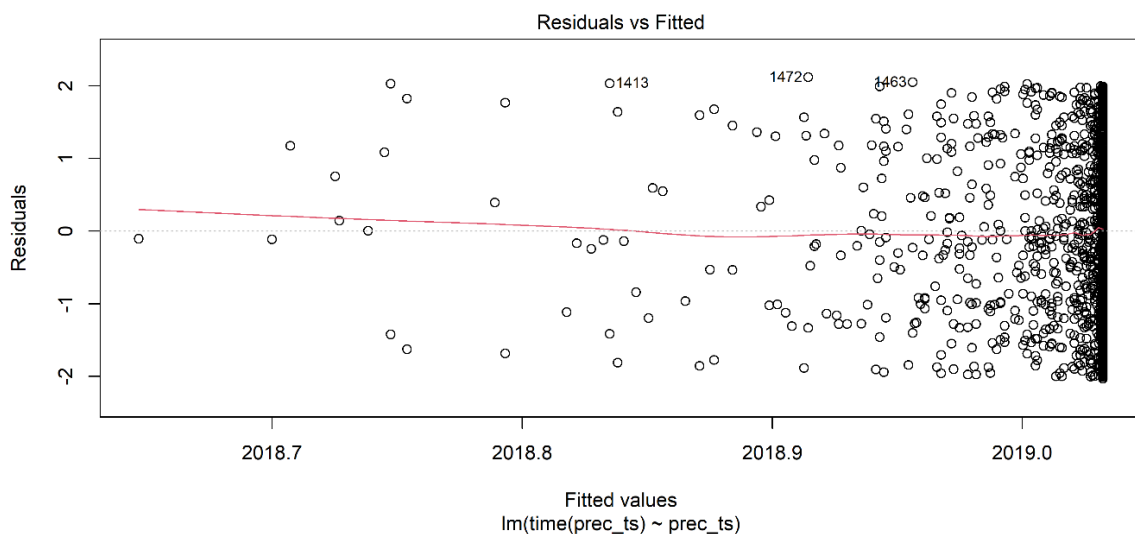
**Figura 11.**  
*Descomposición de la serie de tiempo de temperatura.*



Fuente: Elaborado por el autor

A continuación, tras los análisis anteriormente mencionados y con el objetivo de comprender el comportamiento y evolución de estas variables meteorológicas en el tiempo para la determinación de la estacionalidad, se aplicó el modelo estadístico de regresión lineal para las variables de precipitación y temperatura. Seguido de estos, se implementó una regresión lineal múltiple para las variables de precipitación y temperatura.

**Figura 12.**  
*Gráfico de dispersión que representa la regresión lineal de la precipitación.*



Fuente: Elaborado por el autor

### Figura 13.

Resultados del modelo de regresión lineal de los datos de precipitación.

```
Call:
lm(formula = time(prec_ts) ~ prec_ts, data = prec_ts)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-2.03226 -0.99136  0.00111  0.99857  2.11576

Coefficients:
            Estimate Std. Error  t value Pr(>|t|)
(Intercept)  2.019e+03  3.284e-02 61477.686 <2e-16 ***
prec_ts      -8.186e-03  5.982e-03  -1.368   0.171
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 1.164 on 1470 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.001272, Adjusted R-squared:  0.0005928
F-statistic: 1.873 on 1 and 1470 DF, p-value: 0.1714
```

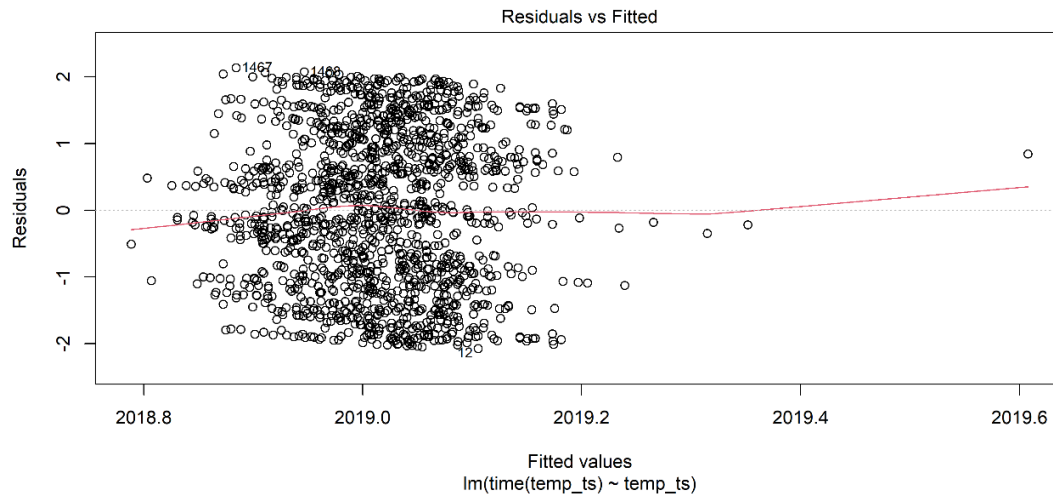
Fuente: Elaborado por el autor

En primer lugar, podemos ver las Figuras 12 y 13, que demuestran la implementación y resultados del modelo de regresión lineal de los datos de precipitación a lo largo del tiempo. Al analizar los resultados, en la Figura 12, los puntos de dispersión indican la distribución de los valores residuales, aquellos que hacen referencia a la diferencia entre los valores de observados y los valores que fueron predichos por el modelo. Para evaluar la simetría del modelo se busca que la mediana obtenida se encuentre lo más cercana a 0 y, como indica la Figura 13, se ha obtenido un valor de 0.00111, por lo que podemos inferir que los residuales son simétricos. Así mismo, en la Figura 12, observamos la recta de regresión que se ha creado a partir del modelo de regresión, aquella que indica un comportamiento aparentemente lineal de la precipitación.

Posteriormente, al analizar más detalladamente la Figura 13, podemos ver los coeficientes obtenidos del modelo aplicado. Los errores estándar del intercepto y la variable de precipitación son bajos indicando que el modelo no demuestra una variación significativa en sus resultados. Así mismo, podemos ver que el valor de *t value* del intercepto está bastante alejado de 0 y indicando que existe una relación entre la precipitación y el tiempo de los datos. De la misma manera, se obtiene un  $Pr(>|t|) < 2e-16$  (\*\*\*) para el intercepto lo que indica una muy buena significancia de los datos del modelo. Sin embargo, en la Figura 13, en el caso de la serie de tiempo de los datos de precipitación, se indica un *p-value* = 0.1714 que denota una falta de normalidad en los datos.

**Figura 14.**

*Gráfico de dispersión que representa la regresión lineal de la Temperatura.*



Fuente: Elaborado por el autor

**Figura 15.**

*Resultados del modelo de regresión lineal de los datos de temperatura.*

```
Call:
lm(formula = time(temp_ts) ~ temp_ts, data = temp_ts)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-2.07540 -1.01278 -0.02901  0.98503  2.13197

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) 2019.94679   0.38421  5257.376  <2e-16 ***
temp_ts     -0.06455   0.02653   -2.433   0.0151 *
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 1.163 on 1470 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.004009, Adjusted R-squared:  0.003332
F-statistic: 5.917 on 1 and 1470 DF, p-value: 0.01511
```

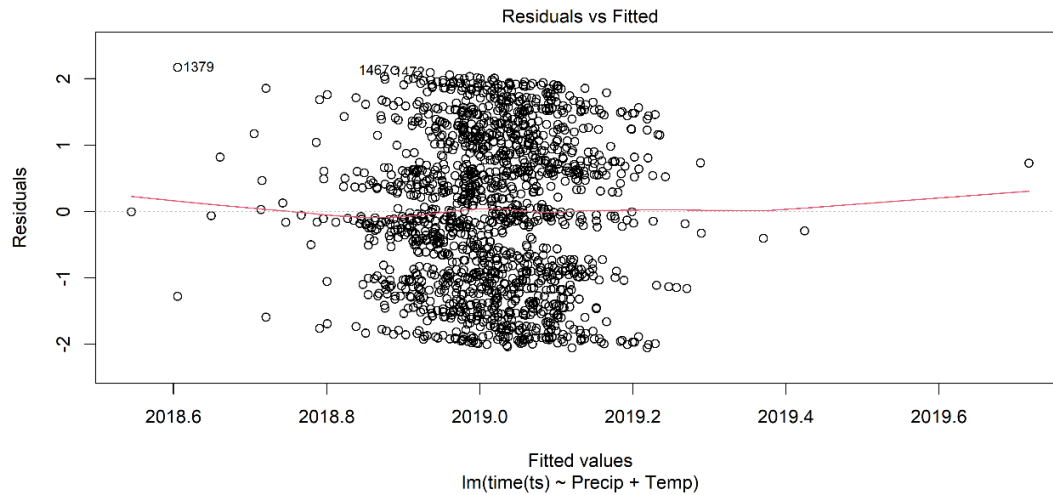
Ahora, al obtener los resultados de la regresión lineal de los datos de la temperatura del aire, que se indican en las Figuras 14 y 15, podemos evidenciar que los datos obtenidos a partir del modelo son simétricos debido a que el valor residual de la mediana se encuentra muy cercano a 0. De esta manera, en la Figura 14, se presenta la línea de regresión del modelo, indicando una curva leve de comportamiento de la temperatura del aire en el transcurso del tiempo. Así mismo, el valor resultante de *t value* del intercepto, debido al encontrarse lejos de 0 y demostrando la presencia de relación entre la serie de tiempo de la temperatura y el tiempo.

Por otro lado, se observa que los valores de error estándar son bajos, y que, por consiguiente, indican baja variación en los resultados del modelo; y, en el caso del intercepto, un  $Pr(>|t|) < 2e-16$  (\*\*\*) demostrando una muy buena significancia en los datos. Así mismo, para la serie de tiempo de la variable de temperatura, podemos ver un *p-value* de 0.01511, indicando nuevamente, un valor adecuado de significancia y la existencia de normalidad en los datos.

A continuación, tras haber implementado el modelo estadístico de regresión lineal independientemente para las variables de precipitación y temperatura, las Figuras 16 y 17, reflejan la implementación de la regresión lineal múltiple.

**Figura 16.**

*Gráfico de dispersión que representa la regresión múltiple de la Precipitación y Temperatura.*



Fuente: Elaborado por el autor

**Figura 17.**

*Resultados del modelo de regresión lineal múltiple sobre los datos de precipitación y temperatura*

```
Call:
lm(formula = time(ts) ~ Precip + Temp, data = ts)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-2.05509 -1.01197 -0.02848  0.98773  2.17015

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  2.020e+03  3.933e-01  5136.213 < 2e-16 ***
Precip       -1.130e-02  6.076e-03   -1.859  0.06322 .
Temp        -7.392e-02  2.699e-02   -2.739  0.00624 **
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

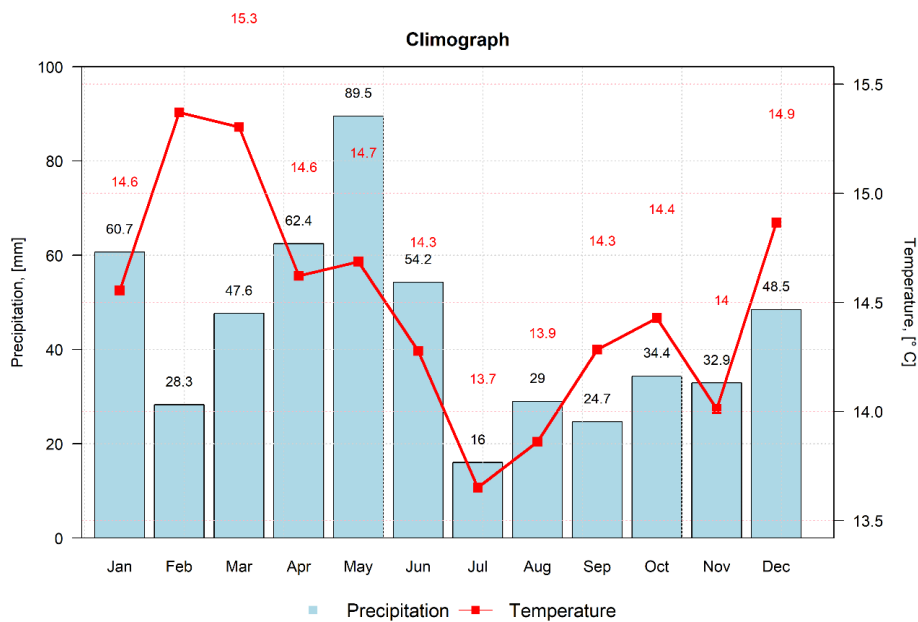
Residual standard error: 1.162 on 1469 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.006347, Adjusted R-squared:  0.004994
F-statistic: 4.692 on 2 and 1469 DF, p-value: 0.009308
```

La implementación de la regresión lineal múltiple, en la Figura 16, demuestra el comportamiento de las variables de precipitación y temperatura; y denota que existe una línea de regresión prácticamente lineal. Sin embargo, logramos observar que la recta de regresión se ve afectada por la variabilidad de los datos existentes. Por último, podemos ver que los resultados de la regresión lineal múltiple, en la Figura 17, también reflejan una buena significancia de los datos, obteniendo un  $Pr(>|t|) < 2e-16$  (\*\*\*) ; lo que permite demostrar la eficiencia del modelo y la existencia de una estacionalidad en la ciudad de Cuenca.

A continuación, la Figura 18, a partir de un climograma, demuestra el comportamiento climático estacional anual, aquel que indica como principal característica, la presencia de precipitación a lo largo de todo el año y la respectiva variación de la temperatura del aire. Según la figura mencionada anteriormente, se puede inferir que,

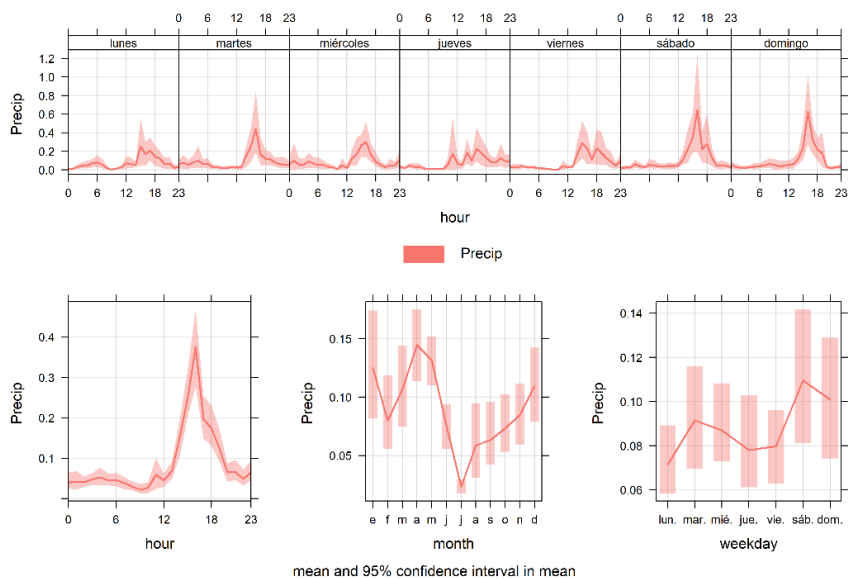
entre los meses de diciembre a junio, se indica una época de mayor presencia de precipitaciones, en especial para los meses de diciembre, enero y mayo, así como, se demuestra otra época con menos precipitación en los meses de junio a noviembre. Como se ha mencionado anteriormente, en la Figura 18, en la mayoría de los meses, al aumentar la precipitación, la temperatura tiende a disminuir o viceversa. Además, se puede ver también los valores aproximados de precipitación mensual y de temperatura del aire.

**Figura 18.**  
*Climograma de la ciudad de Cuenca (Estacionalidad).*



Fuente: Elaborado por el autor

**Figura 19.**  
*Variación de la precipitación en escalas de tiempo cortas.*



Fuente: Elaborado por el autor

En la ciudad de Cuenca, tal como se ha revisado previamente, existe una gran variabilidad de precipitación, por lo que, la Figura 19, demuestra más a detalle el comportamiento de la precipitación en escalas de tiempo más

cortas. Esta figura mencionada anteriormente es esencial para comprender la variabilidad que tiene la precipitación, principalmente, en escalas horarias y semanales, pues de esta manera, es posible conocer y entender más detalladamente la estacionalidad y, por consiguiente, tener resultados más precisos. Por lo que, podemos evidenciar que en los días martes, sábado y domingo, y entre las 13:00 y 20:00 del día, es cuando existe más probabilidad de la presencia de precipitaciones.

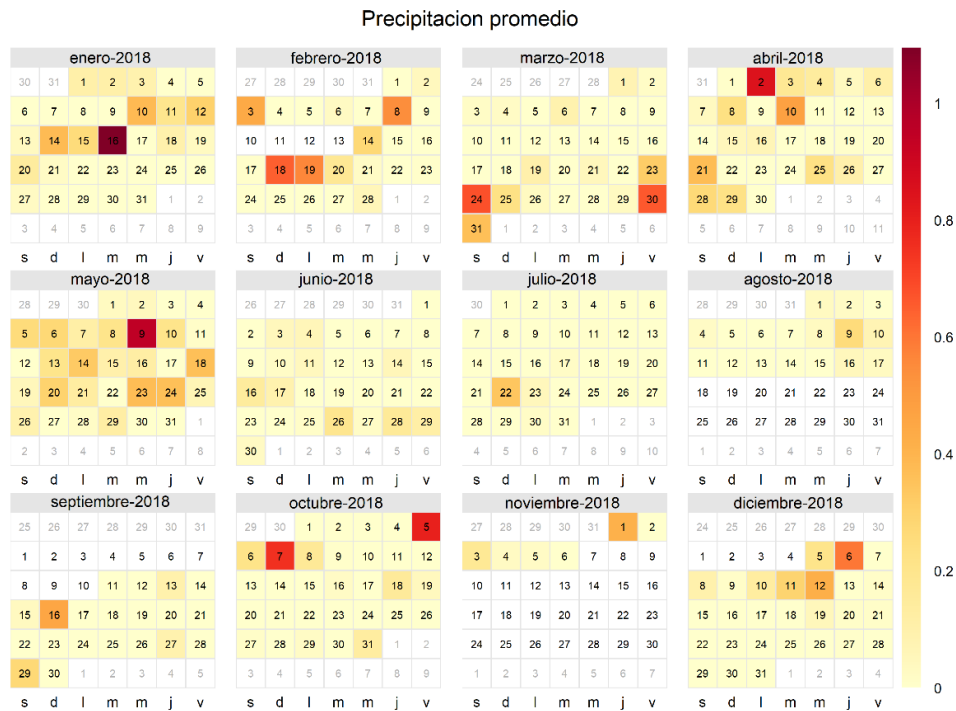
Por otro lado, las Figuras 18 y 19, demuestran información que es de gran importancia y ayuda para la ciudad de Cuenca, ya que influyen en la toma de decisiones en la calidad del aire, con el objetivo de mejorar la información que se provee a la sociedad y, así mismo, para tomar acciones de prevención y conciencia ambiental sobre posibles incrementos en los contaminantes en el aire. Debido a esto, se debe recalcar la importancia del presente estudio y su importancia en la sociedad, ya que, sus resultados son indispensables y de gran relevancia para diferentes áreas como economía, salud, agronomía, entre otros.

Por último, las Figuras 20 y 21, indican un comportamiento diario de la precipitación y temperatura en forma de calendario, a lo largo de un año tipo. Estas dos figuras mencionadas, se basan en los datos promedio de precipitación y temperatura del año 2018, y nos ayudan a fortalecer aún más los resultados de estacionalidad obtenidos y a comprender de mejor manera el comportamiento de estas variables estudiadas. De la misma manera, proveen una mejor y más clara idea de la variabilidad climática en la ciudad y su relación con la calidad del aire, pues permite entender que en días que se presenta una mayor temperatura del aire, el índice de calidad del aire incrementará, provocando que el aire sea perjudicial para la salud, y, al contrario, en días de mayor precipitación el índice de calidad del aire disminuirá.

Empero, según lo indican algunas de las Figuras dentro del presente estudio, aún al tener datos exactos que demuestren el comportamiento climático, se debe mencionar que debido a la variabilidad de las precipitaciones en la ciudad de Cuenca y a la imprevisibilidad climática, es posible que existan cambios en la precipitación o en la temperatura del aire. Así mismo cabe mencionar que en los Anexos de la presente investigación se encuentra el respectivo análisis diario de cada año de los datos, aquello que es de gran utilidad para la comprensión de los resultados.

**Figura 20.**

*Comportamiento de la precipitación en un año tipo en forma de calendario.*

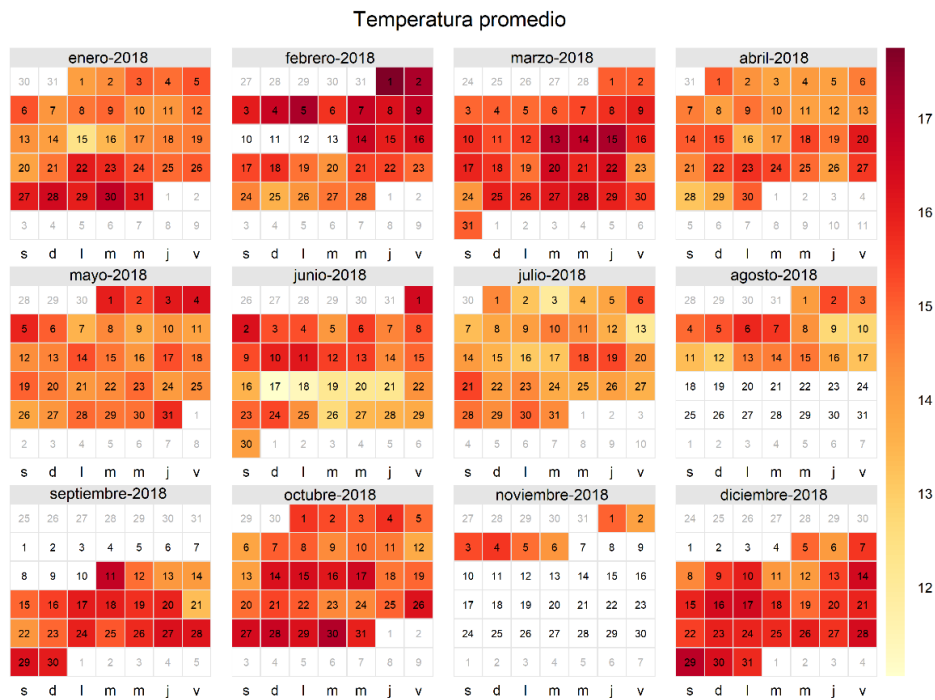


*Nota:* Esta gráfica está basada en los datos de precipitación promedio del año 2018.

Fuente: Elaborado por el autor

**Figura 21.**

*Comportamiento de la temperatura en forma de calendario.*



*Nota:* Esta gráfica está basada en los datos de temperatura promedio del año 2018.

Fuente: Elaborado por el autor

## 5. Discusión

A pesar de los resultados satisfactorios obtenidos por medio de la presente investigación, existen diferentes factores que deben ser tomados en cuenta, ya sea en los resultados de esta, o como base para futuras investigaciones.

En primer lugar, se debe mencionar a la cantidad significativa de datos nulos que componen el *dataset* utilizado, que comprenden al 31.7%. Debido a esto, en este tipo de investigaciones meteorológicas, se debe contemplar que usualmente, el instrumento de medición, aquel que es la estación climatológica, puede ocasionar pérdidas de información en situaciones de mantenimientos, daños o información errónea involuntaria debido a situaciones del clima. Por lo tanto, si bien, la estacionalidad que se ha determinado dentro del presente estudio es adecuada, una mayor completitud de los datos permitiría una obtención más precisa, pero no reflejará cambios muy significativos.

De la misma manera, al momento de establecer una estacionalidad climática, deben ser tomados en cuenta otros factores meteorológicos como lo son los fenómenos ENSO, aquellos que no se encuentran correctamente registrados en el Ecuador y afectan al comportamiento climático. Y, por otro lado, la distribución anormal de la precipitación, causada debido a la climatología propia de la ciudad de Cuenca, es otro factor que influye en el presente estudio y sus resultados.

Por último, es fundamental mencionar que, si bien se ha logrado determinar la estacionalidad climática, no se puede decir que el comportamiento determinado es exacto debido a la imprevisibilidad climática existente, cambio climático, y otros diferentes factores que influyen en el cambio del comportamiento de las variables de precipitación y temperatura. Así mismo, en relación con la calidad del aire, el presente estudio es de gran ayuda para comprender de mejor manera los índices de los contaminantes y su relación con el clima, sin embargo, tampoco puede ser considerada exacta su relación con los mismos, pues existe una dependencia de otras variables que, de la misma manera, son influyentes.

## 6. Conclusión

En breve, una vez que han sido analizados los datos de precipitación y temperatura en la ciudad de Cuenca, se prevé que la estacionalidad determinada se divide en; una estación lluviosa, aquella que comprende a partir de diciembre a mayo; y, otra estación, que se la define como menos lluviosa, desde junio a noviembre. De esta manera, a lo largo de estas estaciones se determina una fluctuación de las temperaturas, siendo una parte del año más fría que otra, sin embargo, debido a la ausencia de normalidad en los datos de precipitación, no se puede determinar exactamente los periodos estacionarios.

La investigación ha obtenido los resultados esperados, también, gracias a los estudios realizados que nos han otorgado la oportunidad de verificar la implementación de la regresión lineal como método estadístico para la determinación de la estacionalidad del clima de la ciudad de Cuenca, que a más de ser una fuente de revisión confiable, han sido el pilar fundamental para encontrar la constante que se ha demostrado en este trabajo de investigación. Por consiguiente, se ha demostrado que la aplicación del método estadístico de regresión lineal múltiple permite un establecimiento de estacionalidad adecuado, que ha permitido cumplir satisfactoriamente con los objetivos planteados. Es por esta razón que, tras el respectivo análisis implementado sobre los datos y los diferentes resultados obtenidos en cada proceso realizado, es posible proveer a la sociedad con información



esencial que permita mejorar el conocimiento meteorológico de la ciudad de Cuenca. Así mismo, incentivar a la mejora de decisiones con relación a la situación climática de la ciudad, generando una mayor conciencia ambiental.

Finalmente, es necesario mencionar que esta investigación no comprende un criterio de análisis único, sino más bien, será la base para futuras investigaciones que, en ciencia cierta, alcancen criterios de exactitud más cercanos a la realidad, teniendo en cuenta que las variables climáticas, en términos de temperatura precipitación y demás factores, siempre estarán en un constante cambio debido a la morfología y ubicación geográfica de la ciudad de Cuenca, y, además, gracias a la imprevisibilidad meteorológica. Sin embargo, este trabajo de investigación otorgará una herramienta útil e informativa sobre el comportamiento climático de los últimos años en la ciudad de Cuenca, que sin quitar mérito al tiempo y sus variables, pueden servir a la comunidad para el desarrollo de sus actividades cotidianas.

## 7. Referencias

- Ackerman, S. A., & Knox, J. A. (2007). *Meteorology: Understanding the Atmosphere*. Thomson Brooks/Cole. <https://books.google.com.ec/books?id=qrcRAQAIAAJ>
- Ahrens, C. D., & Henson, R. (2018). *Essentials of Meteorology: An Invitation to the Atmosphere* (8th ed.). Cengage Learning.
- Albán Crespo, S. C., Peralta Úrgiles, M. B., & Sellers Walden, C. A. (2017). *Propuesta de un índice de calidad ambiental para el área urbana de Cuenca*.
- Alfaro, E. J., Chourio, X., Muñoz, Á. G., & Mason, S. J. (2017). Improved seasonal prediction skill of rainfall for the Primera season in Central America. *International Journal of Climatology*, 38, e255–e268. <https://doi.org/10.1002/joc.5366>
- American Meteorological Society. (2022). *Precipitation - Glossary of Meteorology*. <https://glossary.ametsoc.org/wiki/Precipitation>
- Aucahuasi, A. (2019). *Análisis de tendencia de precipitación y temperatura (1970-2017) en la ciudad de Puerto Maldonado, Perú*. 1–117. [http://repositorio.unsaac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12918/4769/253T20191175\\_TC.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unsaac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12918/4769/253T20191175_TC.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Benesty, J., Chen, J., & Huang, Y. (2008). On the importance of the pearson correlation coefficient in noise reduction. *IEEE Transactions on Audio, Speech and Language Processing*, 16(4), 757–765. <https://doi.org/10.1109/TASL.2008.919072>
- Berger, V. W., & Zhou, Y. (2014). Kolmogorov–Smirnov Test: Overview. *Wiley StatsRef: Statistics Reference Online*, 1–5. <https://doi.org/10.1002/9781118445112.stat06558>
- Blackmore, I., Rivera, C., Waters, W. F., Iannotti, L., & Lesorogol, C. (2021). The impact of seasonality and climate variability on livelihood security in the Ecuadorian Andes. *Climate Risk Management*, 32(December 2019), 100279. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2021.100279>
- Bustamante Campoverde, A. S. (2018). Analysis of the urban heat island in the Andean environment of Cuenca-Ecuador. *Investigaciones Geográficas*, 70, 167–179. <https://doi.org/10.14198/INGEO2018.70.08>
- Campozaño, L., Célleri, R., Trachte, K., Bendix, J., & Samaniego, E. (2016). Rainfall and Cloud Dynamics in the Andes: A Southern Ecuador Case Study. *Advances in Meteorology*, 2016. <https://doi.org/10.1155/2016/3192765>
- Campozaño, L., Tenelanda, D., Sanchez, E., Samaniego, E., & Feyen, J. (2016). Comparison of Statistical Downscaling Methods for Monthly Total Precipitation: Case Study for the Paute River Basin in Southern Ecuador. *Advances in Meteorology*, 2016. <https://doi.org/10.1155/2016/6526341>
- Center Of Science Education. (2020). *What is Air Quality?*. <https://scied.ucar.edu/learning-zone/air-quality/what-is-air-quality>
- Chimborazo, O., & Vuille, M. (2021). Present-day climate and projected future temperature and precipitation changes in Ecuador. *Theoretical and Applied Climatology*, 143(3–4), 1581–1597. <https://doi.org/10.1007/s00704-020-03483-y>
- Cobo Jerves, R., & Armijo Arcos, F. (2016). Análisis y revisión de la red de monitoreo de calidad del aire de la ciudad de Cuenca - Ecuador. *La Granja*, 23(1), 25–34. <https://doi.org/10.17163/lgr.n23.2016.03>
- Coleman, J. S. M. (2015). *Atmospheric Science: Meteorology and Climatology*. 1450(1687), 1–7. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.09492-6>
- Cordoba Machado, S. (2015). *Predicción del clima de Colombia en escalas estacional e interanual*.

- Dayton, G. H. (2008). Seasonality. In *Encyclopedia of Ecology* (pp. 3168–3171). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-008045405-4.00545-0>
- DelSole, T., & Tippett, M. (2022). *Statistical Methods for Climate Scientists*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781108659055>
- EMOV EP. (2022). *Calidad de Aire*. <https://www.emov.gob.ec/calidad-de-aire/>
- Fitzhugh Talman, C. (2014). *Meteorology The Science of the Atmosphere*.
- Frisinger, H. H. (1983). *History of Meteorology to 1800* (Vol. 7, Issue 1). k. <https://doi.org/10.1007/978-1-940033-91-4>
- Gallego Gómez, J. L. (2008). Análisis de series temporales. *LADE y LE, I*(Análisis temporal), 111–128.
- Haddad, K., & Vizakos, N. (2021). Air quality pollutants and their relationship with meteorological variables in four suburbs of Greater Sydney, Australia. *Air Quality, Atmosphere and Health, 14*(1), 55–67. <https://doi.org/10.1007/s11869-020-00913-8>
- Hanusz, Z., & Tarasińska, J. (2015). Normalization of the Kolmogorov–Smirnov and Shapiro–Wilk tests of normality. *Biometrical Letters, 52*(2), 85–93. <https://doi.org/10.1515/bile-2015-0008>
- Ilbay-Yupa, M., Lavado-Casimiro, W., Rau, P., Zubieta, R., & Castellón, F. (2021). Updating regionalization of precipitation in Ecuador. *Theoretical and Applied Climatology, 143*(3–4), 1513–1528. <https://doi.org/10.1007/s00704-020-03476-x>
- Koziolek, H. (2008). Goal, question, metric. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), 4909 LNCS*, 39–42. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-68947-8\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-540-68947-8_6)
- Kwiecien, O., Braun, T., Brunello, C. F., Faulkner, P., Hausmann, N., Helle, G., Hoggarth, J. A., Ionita, M., Jazwa, C. S., Kelmelis, S., Marwan, N., Nava-Fernandez, C., Nehme, C., Opel, T., Oster, J. L., Perşoiu, A., Petrie, C., Prufer, K., Saarni, S. M., ... Breitenbach, S. F. M. (2022). What we talk about when we talk about seasonality – A transdisciplinary review. *Earth-Science Reviews, 225*(November 2021). <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2021.103843>
- Landsberg, H. E., Lippmann, H., Paffen, K., & Troll, C. (1965). *Weltkarten zur Klimakunde / World Maps of Climatology* (E. Rodenwaldt & H. J. Juszat (eds.)). Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-52436-3>
- Liang, Q., Wang, W., Mu, J., Liu, X., Na, Z., & Chen, B. (2020). *Artificial Intelligence in China*. <https://doi.org/10.1007/978-981-15-0187-6>
- Liang, S., & Wang, J. (2020). *Chapter 16 - Precipitation. Second*, 621–647. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815826-5.00016-7>
- Lu, Z., Guo, Y., Zhu, J., & Kang, N. (2020). Seasonal forecast of early summer rainfall at stations in south china using a statistical downscaling model. *Weather and Forecasting, 35*(4), 1633–1643. <https://doi.org/10.1175/WAF-D-19-0229.1>
- Lutgens, F. K., Tarbuck, E. J., & Herman, R. L. (2018). *The Atmosphere An Introduction to Meteorology* (14th ed.). Pearson.
- Maidment, D. (1993). *Handbook of Hydrology*.
- Massey, F. J. (1951). The Kolmogorov-Smirnov Test for Goodness of Fit. *Journal of the American Statistical Association, 46*(253), 68. <https://doi.org/10.2307/2280095>
- Montgomery, D. C., Peck, E. A., & Vining, G. G. (2012). *Introduction to Linear Regression Analysis* (Fifth).

- Morán-Tejeda, E., Bazo, J., López-Moreno, J. I., Aguilar, E., Azorín-Molina, C., Sanchez-Lorenzo, A., Martínez, R., Nieto, J. J., Mejía, R., Martín-Hernández, N., & Vicente-Serrano, S. M. (2016). Climate trends and variability in Ecuador (1966–2011). *International Journal of Climatology*, 36(11), 3839–3855. <https://doi.org/10.1002/joc.4597>
- Mudelsee, M. (2019). Trend analysis of climate time series: A review of methods. *Earth-Science Reviews*, 190, 310–322. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2018.12.005>
- Murat, M., Malinowska, I., Gos, M., & Krzyszczak, J. (2018). Forecasting daily meteorological time series using ARIMA and regression models. *International Agrophysics*, 32(2), 253–264. <https://doi.org/10.1515/intag-2017-0007>
- Navarro-Serrano, F., López-Moreno, J. I., Domínguez-Castro, F., Alonso-González, E., Azorin-Molina, C., El-Kenawy, A., & Vicente-Serrano, S. M. (2020). Maximum and minimum air temperature lapse rates in the Andean region of Ecuador and Peru. *International Journal of Climatology*, 40(14), 6150–6168. <https://doi.org/10.1002/joc.6574>
- Olive, D. J. (2017). *Linear Regression*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-55252-1>
- Quishpe-Vázquez, C., García-Valdecasas-Ojeda, M., Gámiz-Fortis, S. R., Castro-Díez, Y., & Esteban-Parra, M. J. (2016). Variabilidad estacional de los caudales en Ecuador en el periodo 1964-2014. In *Clima, sociedad, riesgos y ordenación del territorio* (pp. 97–107). Servicio de Publicaciones de la UA. <https://doi.org/10.14198/XCongresoAECALicante2016-09>
- Schneider, A., Hommel, G., & Blettner, M. (2010). Lineare regressionsanalyse - Teil 14 der serie zur bewertung wissenschaftlicher publikationen. *Deutsches Arzteblatt*, 107(44), 776–782. <https://doi.org/10.3238/arztebl.2010.0776>
- Sellers Walden, C. A., & Cabrera Lituma, M. A. (2016). *Plataforma de visualización estadística de variables atmosféricas múltiples* [Universidad del Azuay]. <https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/6554>
- Spellman, F. R. (2013). The handbook of meteorology. In *Choice Reviews Online* (Vol. 50, Issue 10). <https://doi.org/10.5860/choice.50-5607>
- Spiridonov, V., & Čurić, M. (2021). Fundamentals of meteorology. In *Fundamentals of meteorology*.
- Stern, A. C., Wohlers, H. C., Boubel, R. W., & Lowry, W. P. (1973). Fundamentals of air pollution. In *Academic Press Publ./N.Y.:/ Vol. \$14.95*. <https://doi.org/10.2307/2403263>
- Tapiador, F. J., Turk, F. J., Petersen, W., Hou, A. Y., García-Ortega, E., Machado, L. A. T., Angelis, C. F., Salio, P., Kidd, C., Huffman, G. J., & de Castro, M. (2012). Global precipitation measurement: Methods, datasets and applications. *Atmospheric Research*, 104–105, 70–97. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2011.10.021>
- Terzi, Ö. (2012). Monthly Rainfall Estimation Using Data-Mining Process. *Applied Computational Intelligence and Soft Computing*, 2012, 1–6. <https://doi.org/10.1155/2012/698071>
- Tobar, V., & Wyseure, G. (2018). Seasonal rainfall patterns classification, relationship to ENSO and rainfall trends in Ecuador. *International Journal of Climatology*, 38(4), 1808–1819. <https://doi.org/10.1002/joc.5297>
- Trenberth, K. E. (2011). Changes in precipitation with climate change. *Climate Research*, 47(1–2), 123–138. <https://doi.org/10.3354/cr00953>
- Universidad del Azuay. (2022). *UDA IERSE | Calidad de Aire de Cuenca*. <https://ierse.uazuay.edu.ec/proyectos/sistemagrafico.php>
- Wang, H., & Fu, R. (2002). Cross-equatorial flow and seasonal cycle of precipitation over South America. *Journal of Climate*, 15(13), 1591–1608. [3](https://doi.org/10.1175/1520-</a></p>
</div>
<div data-bbox=)

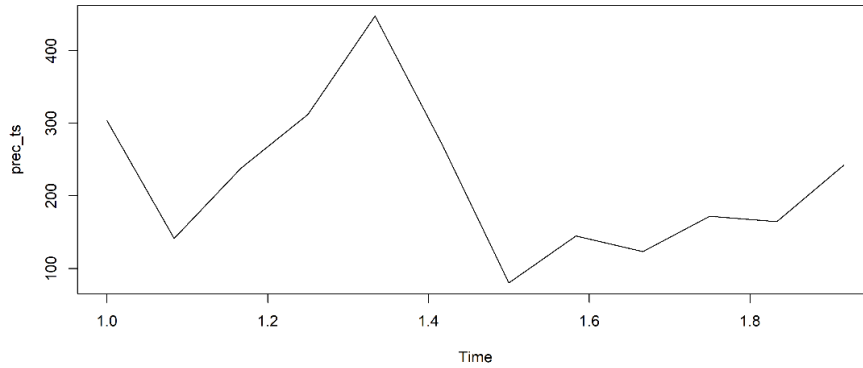
0442(2002)015<1591:CEFASC>2.0.CO;2

Wang, S., Feng, J., & Liu, G. (2013). Application of seasonal time series model in the precipitation forecast. *Mathematical and Computer Modelling*, 58(3–4), 677–683.  
<https://doi.org/10.1016/j.mcm.2011.10.034>

## 8. Anexos

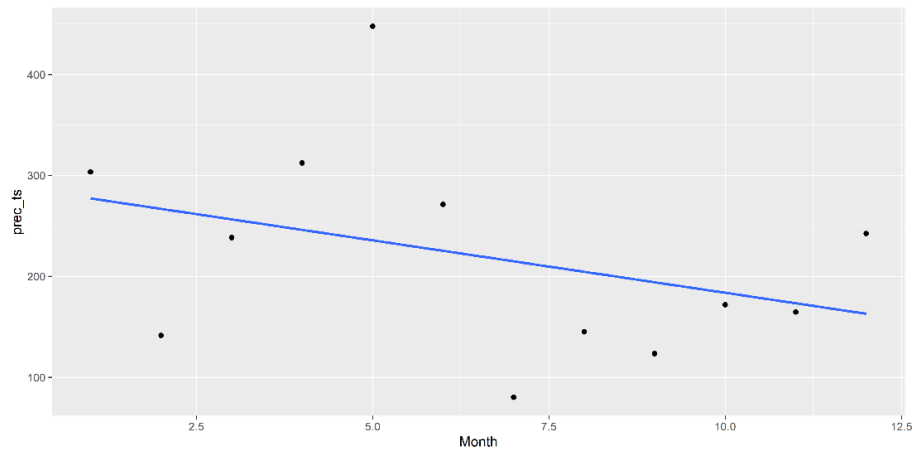
### Anexo 1

Gráfico de líneas que representa la precipitación acumulada a lo largo del tiempo de los datos en escala mensual.



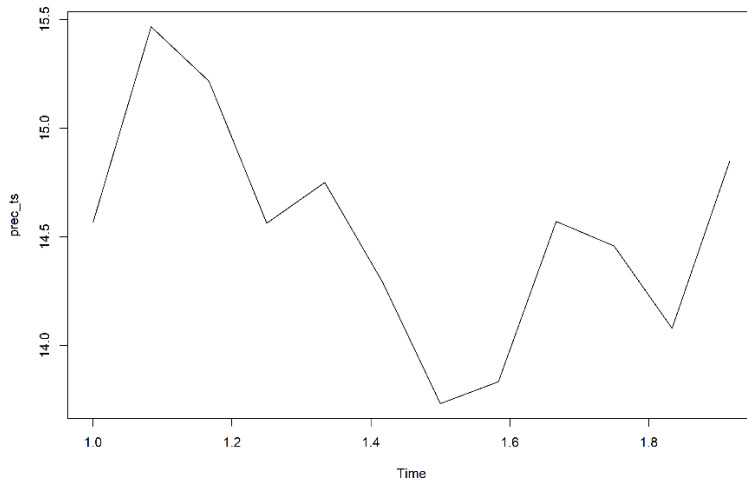
### Anexo 2

Gráfico de dispersión que representa la precipitación acumulada a lo largo del tiempo de los datos en escala mensual.



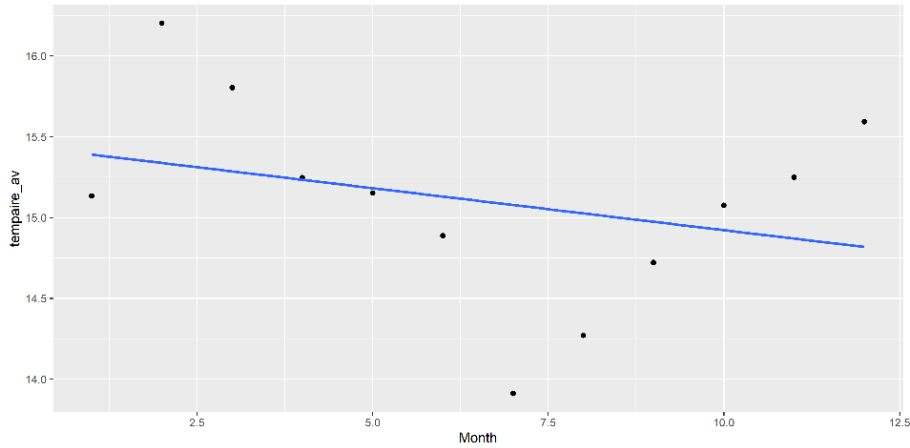
### Anexo 3

Gráfico de líneas que representa la mediana de la temperatura a lo largo del tiempo de los datos en escala mensual.



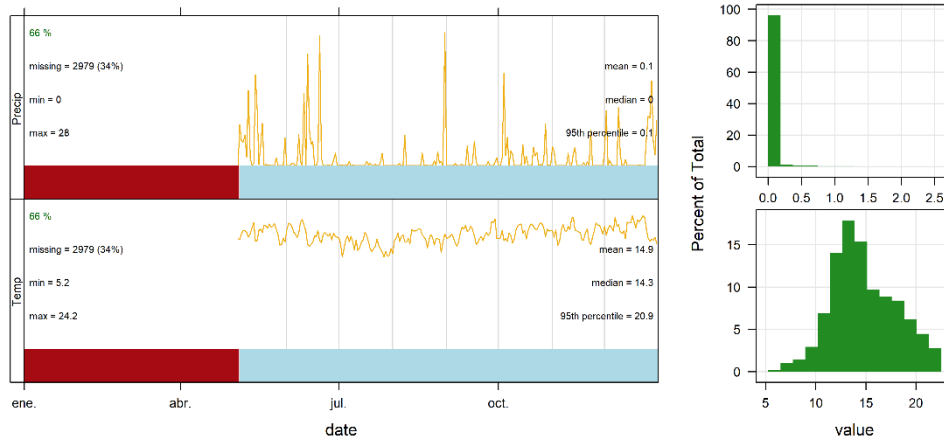
## Anexo 4

Gráfico de dispersión que representa la mediana de la temperatura a lo largo del tiempo de los datos en escala mensual.



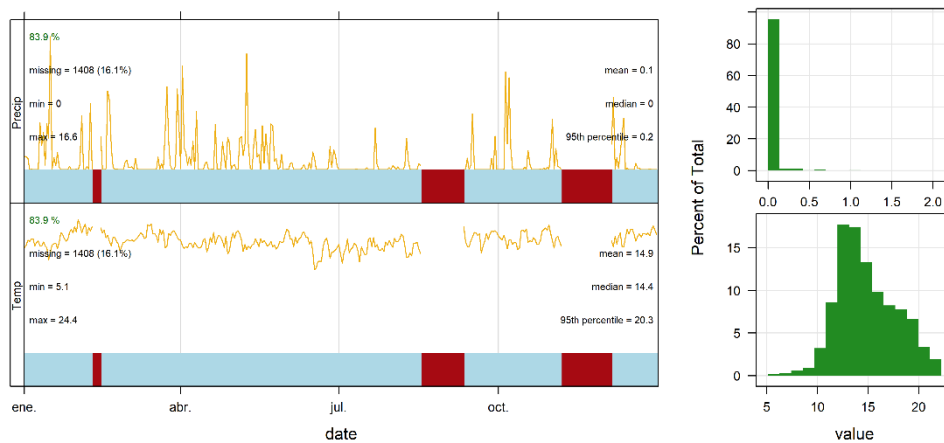
## Anexo 5

Resumen gráfico y numérico de los datos de precipitación y temperatura del año 2017.



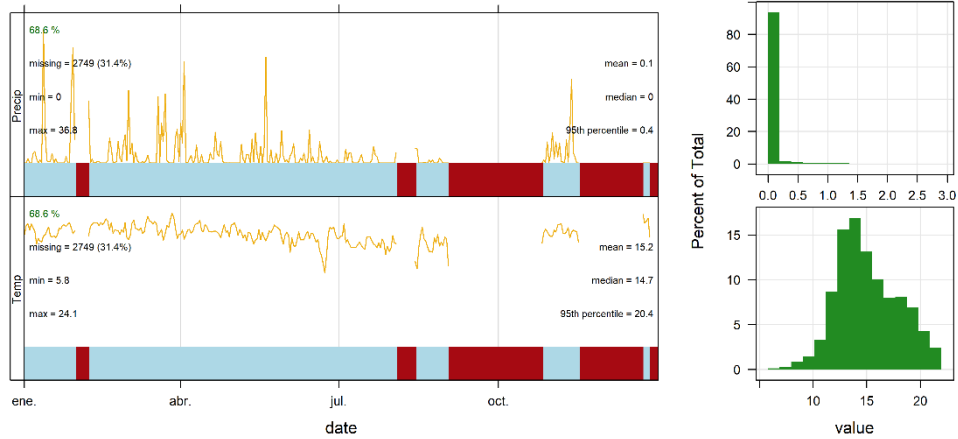
## Anexo 6

Resumen gráfico y numérico de los datos de precipitación y temperatura del año 2018.



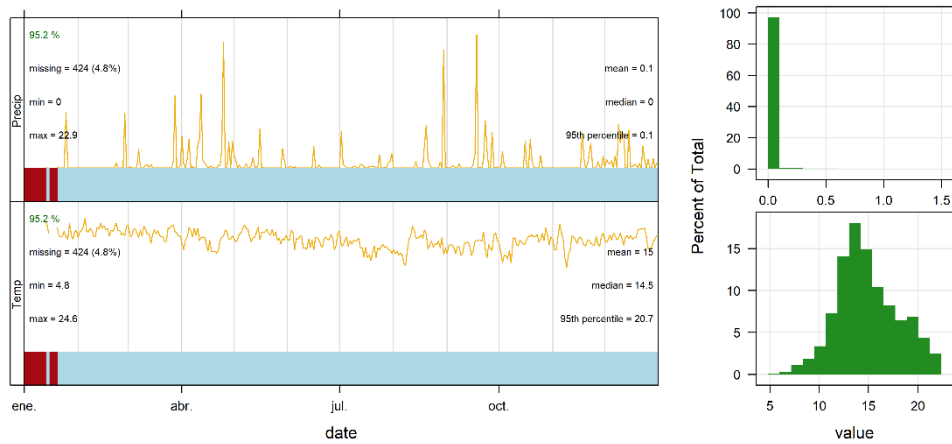
### Anexo 7

Resumen gráfico y numérico de los datos de precipitación y temperatura del año 2019.



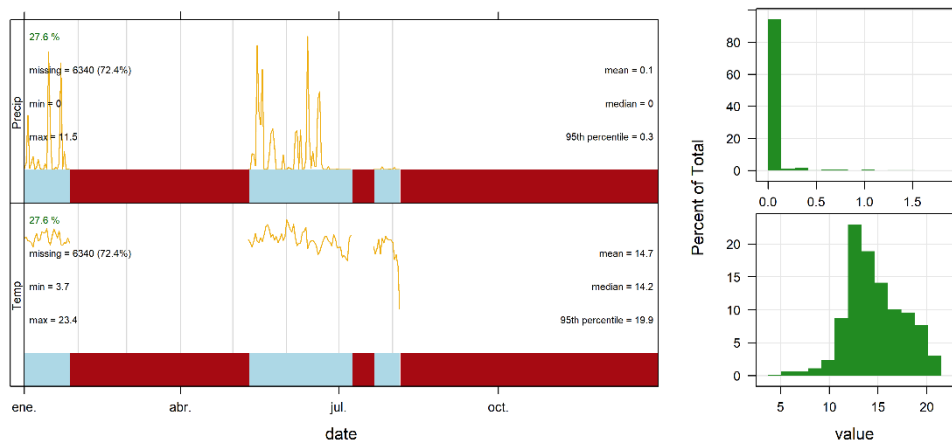
### Anexo 8

Resumen gráfico y numérico de los datos de precipitación y temperatura del año 2020.



### Anexo 9

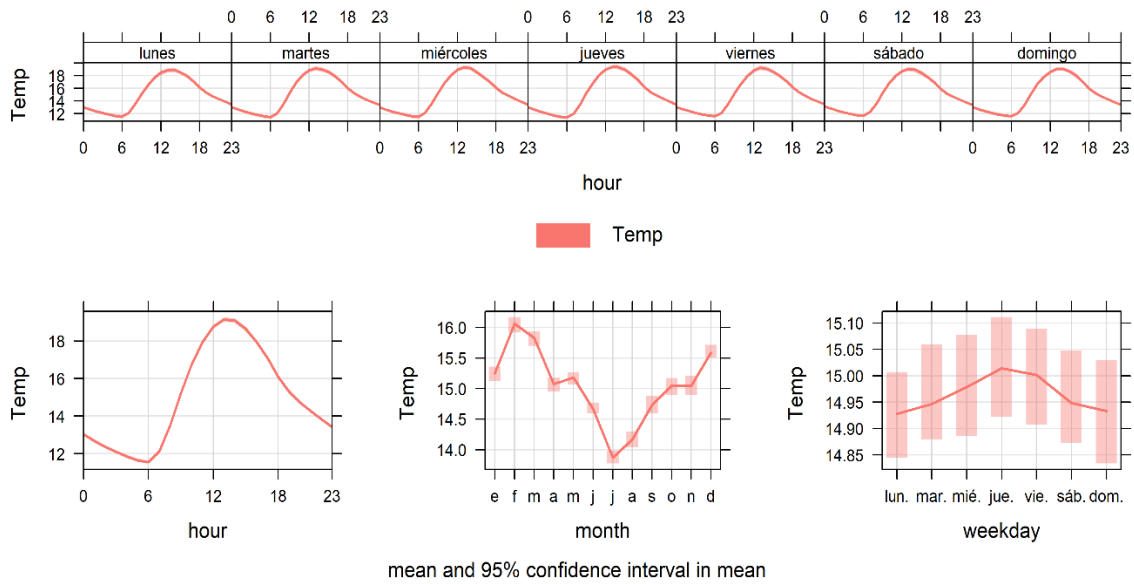
Resumen gráfico y numérico de los datos de precipitación y temperatura del año 2021.





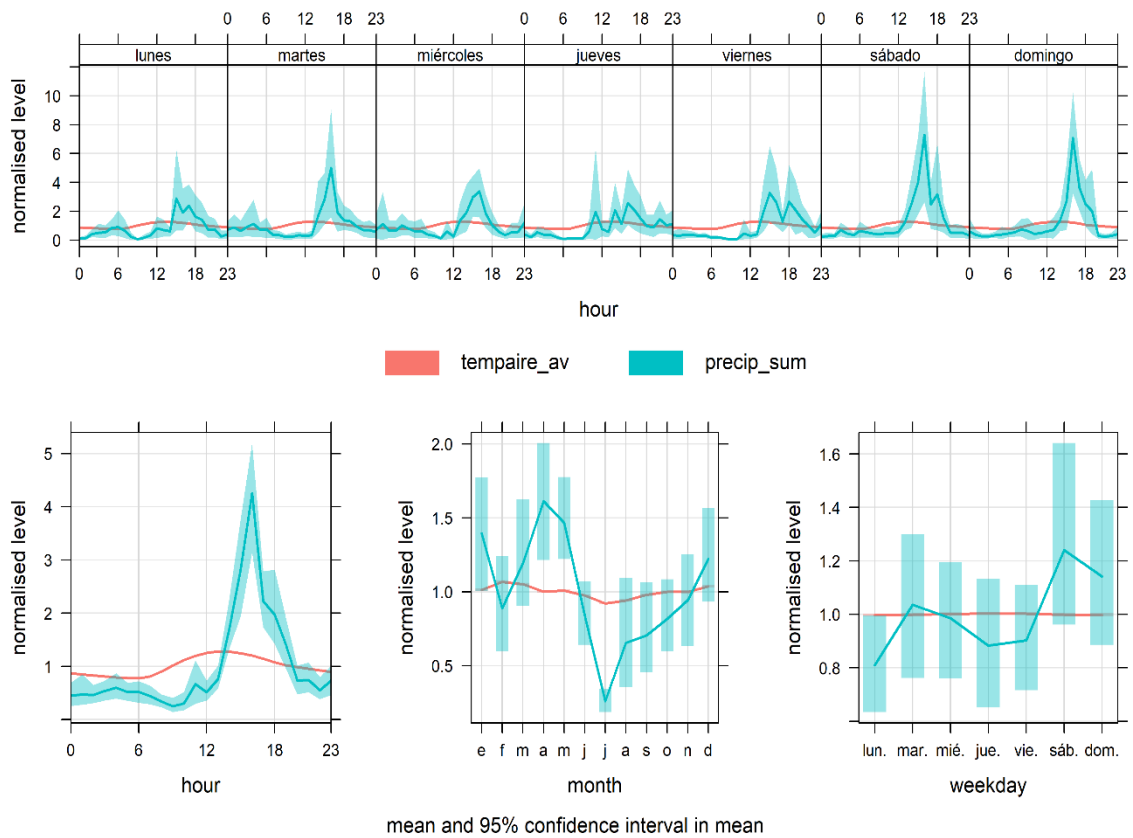
### Anexo 10

Resumen gráfico que representa la variación en el tiempo en escalas de tiempo cortas de los datos temperatura desde el año 2017 al 2021.



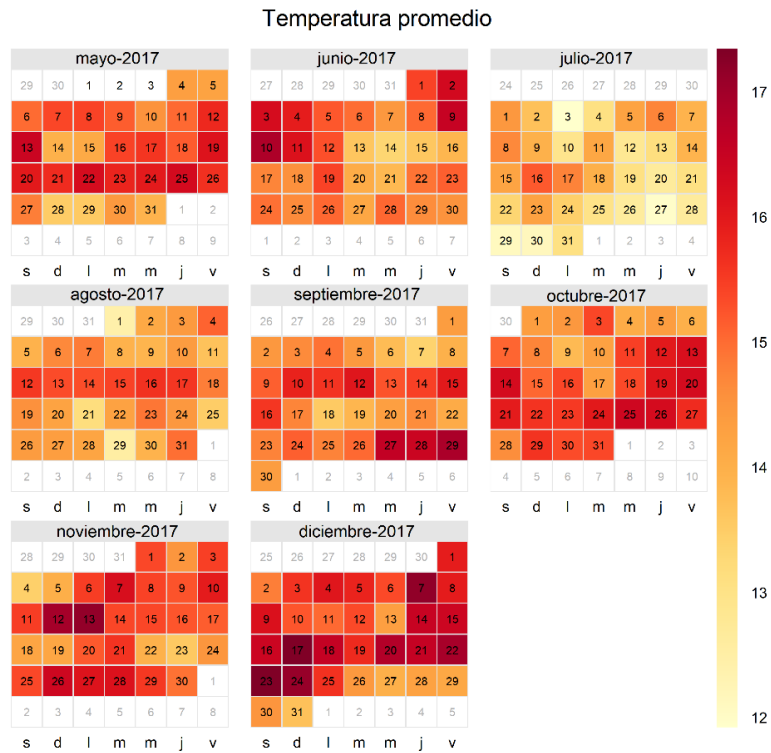
### Anexo 11

Resumen gráfico que representa la variación en el tiempo en escalas de tiempo cortas de los datos temperatura y precipitación desde el año 2017 al 2021.



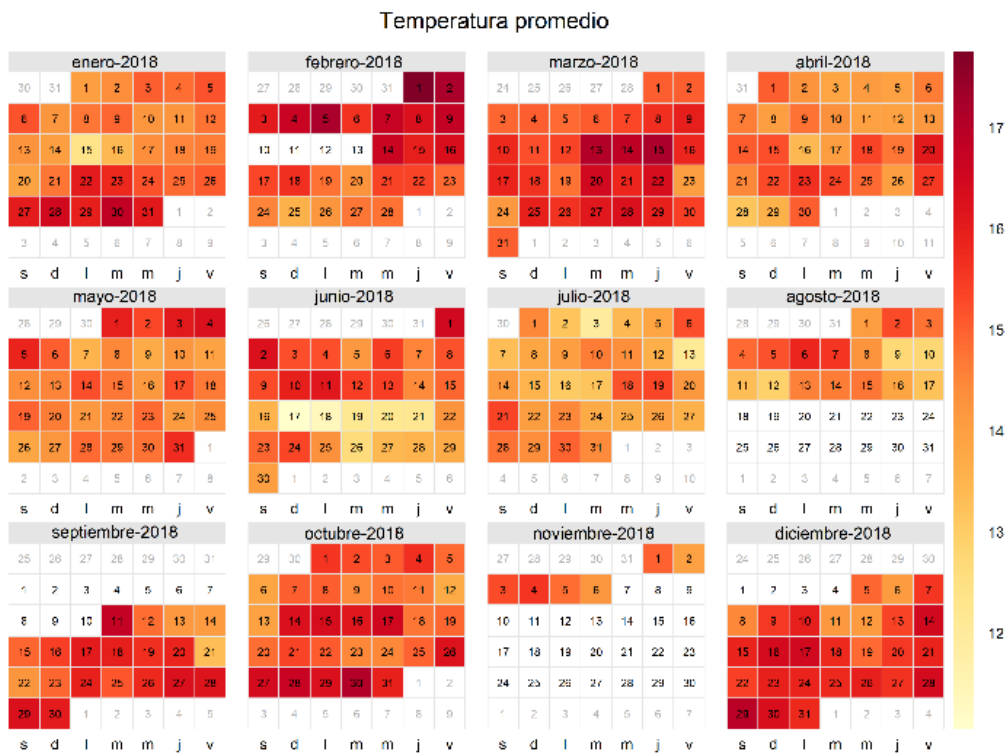
## Anexo 12

Resumen gráfico en forma de calendario que representa el comportamiento anual de los datos de temperatura del año 2017.



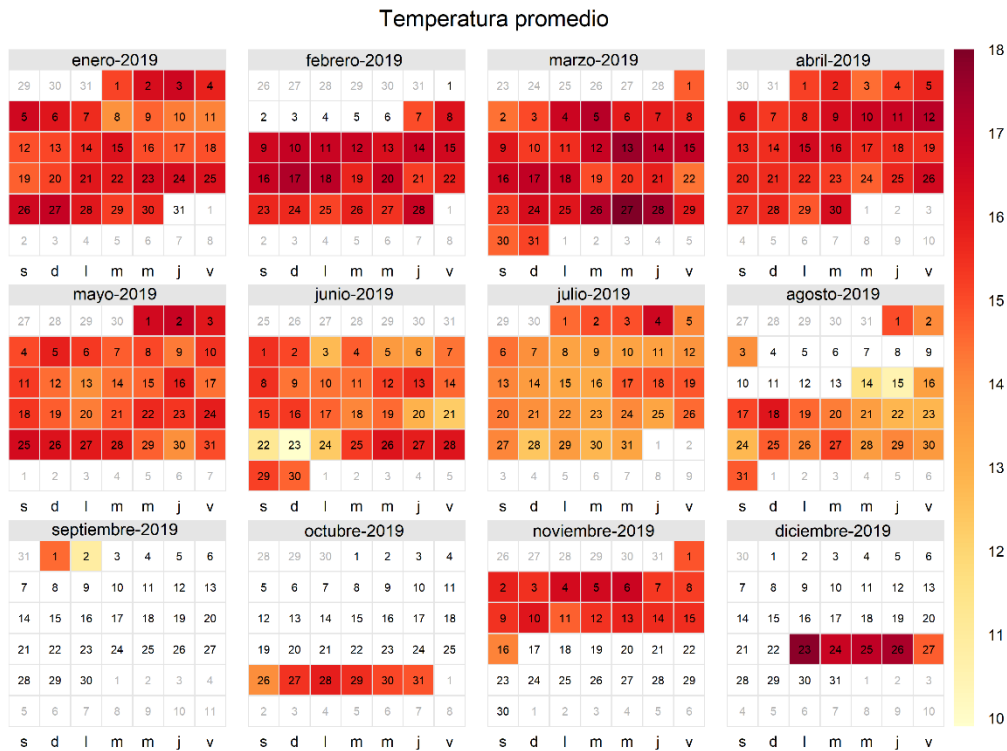
## Anexo 13

Resumen gráfico en forma de calendario que representa el comportamiento anual de los datos de temperatura del año 2018.



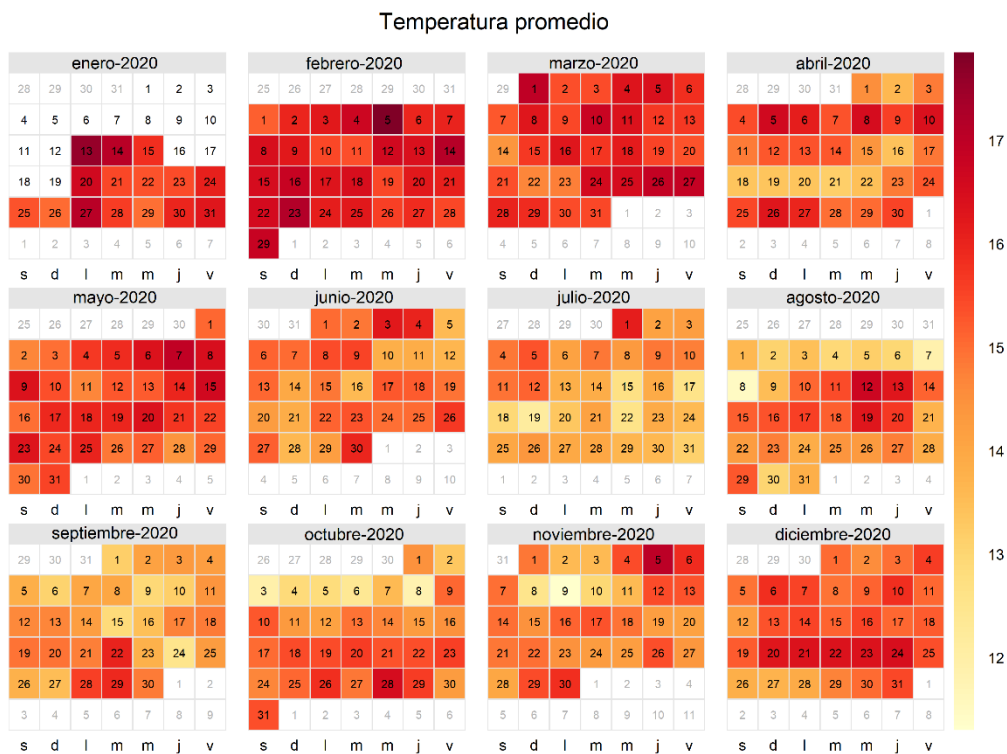
## Anexo 14

Resumen gráfico en forma de calendario que representa el comportamiento anual de los datos de temperatura del año 2019.



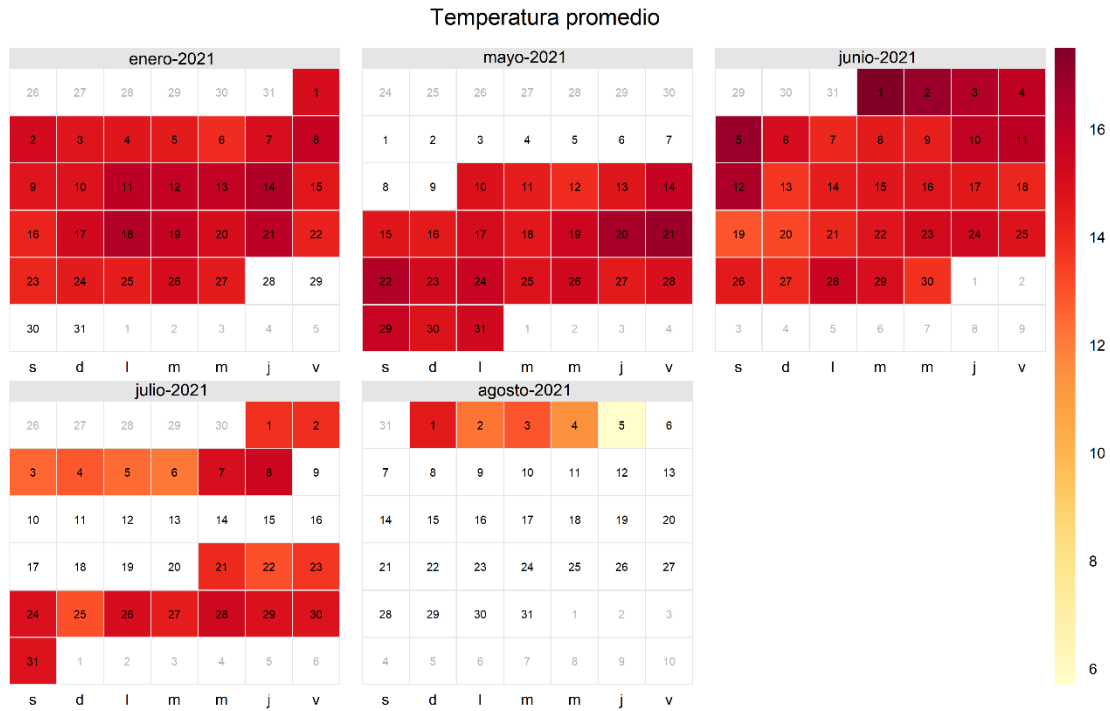
## Anexo 15

Resumen gráfico en forma de calendario que representa el comportamiento anual de los datos de temperatura del año 2020.



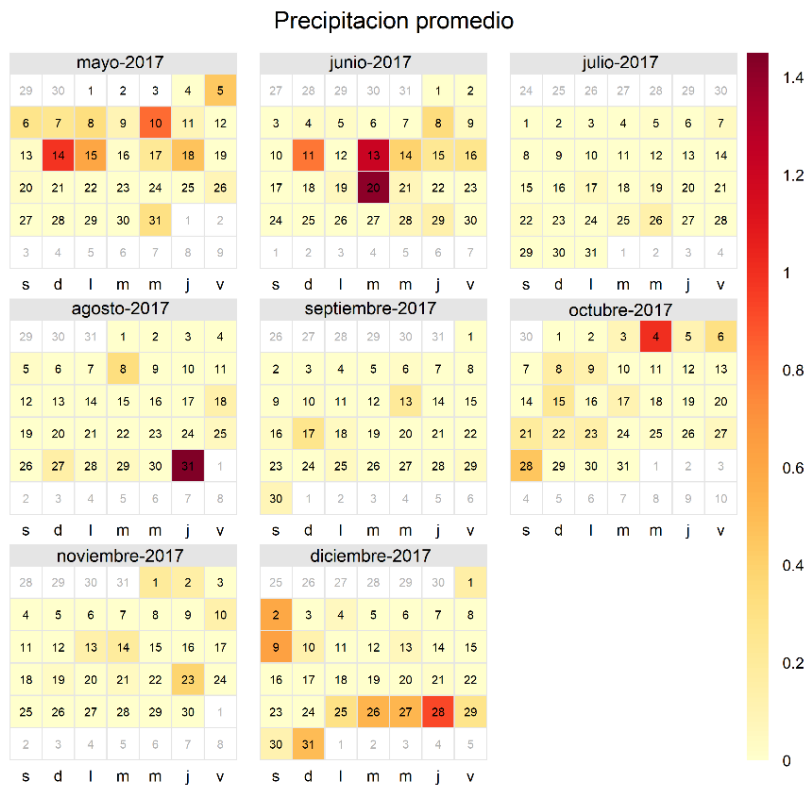
## Anexo 16

Resumen gráfico en forma de calendario que representa el comportamiento anual de los datos de temperatura del año 2021.



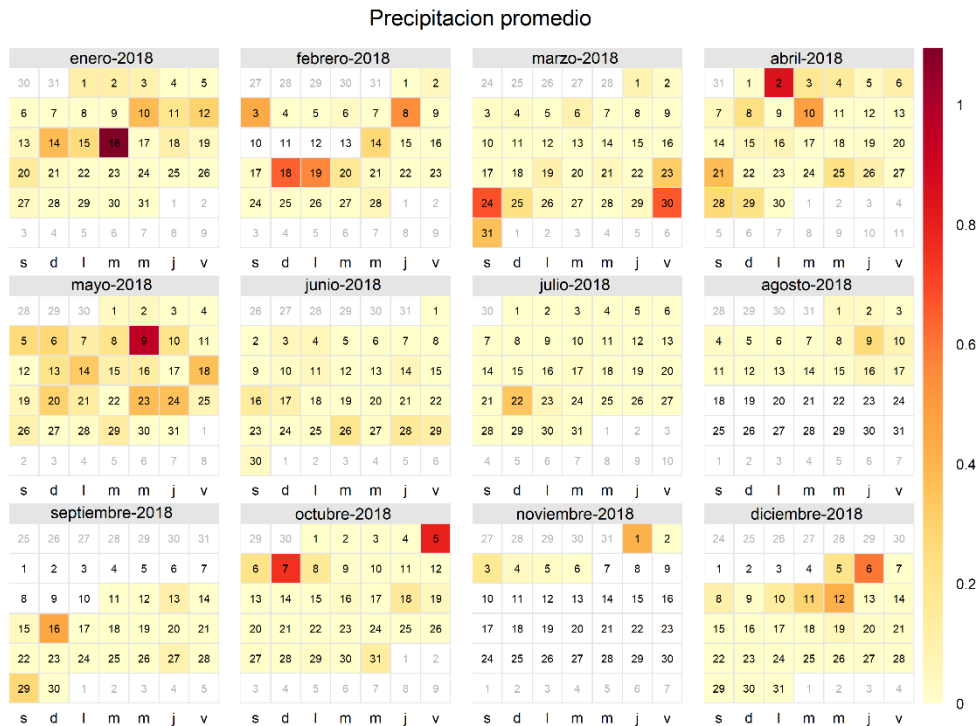
## Anexo 17

Resumen gráfico en forma de calendario que representa el comportamiento anual de los datos de precipitación del año 2017.



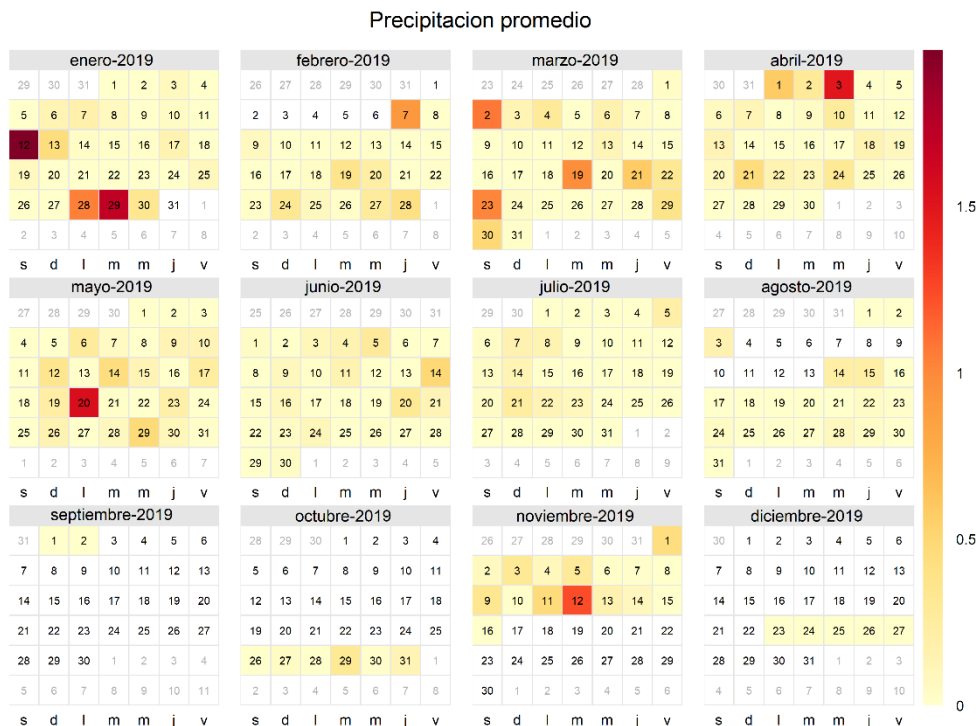
## Anexo 18

Resumen gráfico en forma de calendario que representa el comportamiento anual de los datos de precipitación del año 2018.



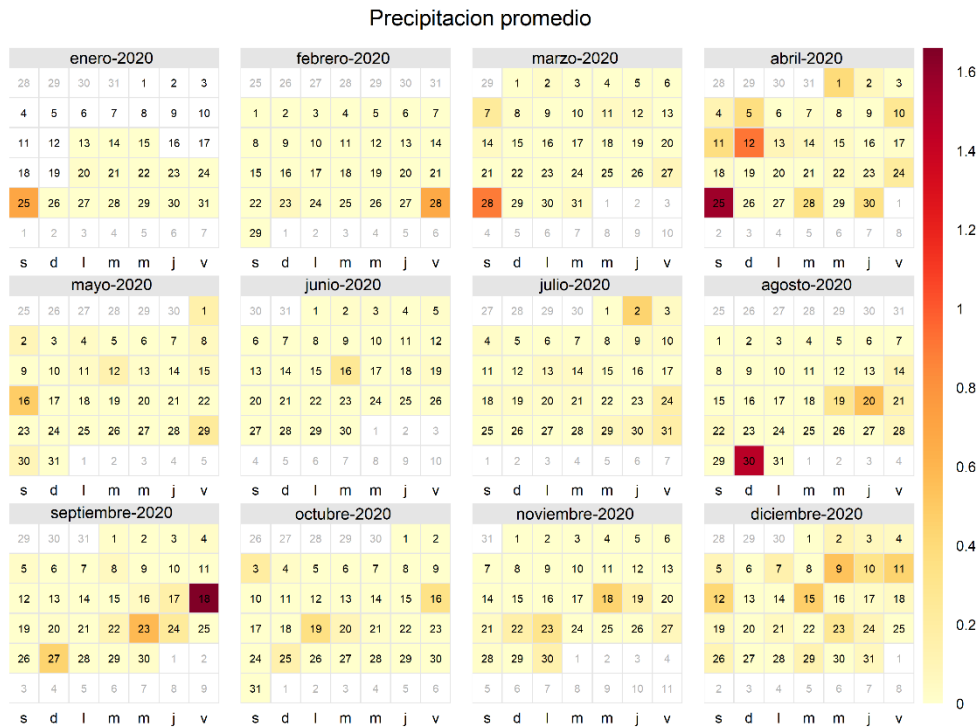
## Anexo 19

Resumen gráfico en forma de calendario que representa el comportamiento anual de los datos de precipitación del año 2019.



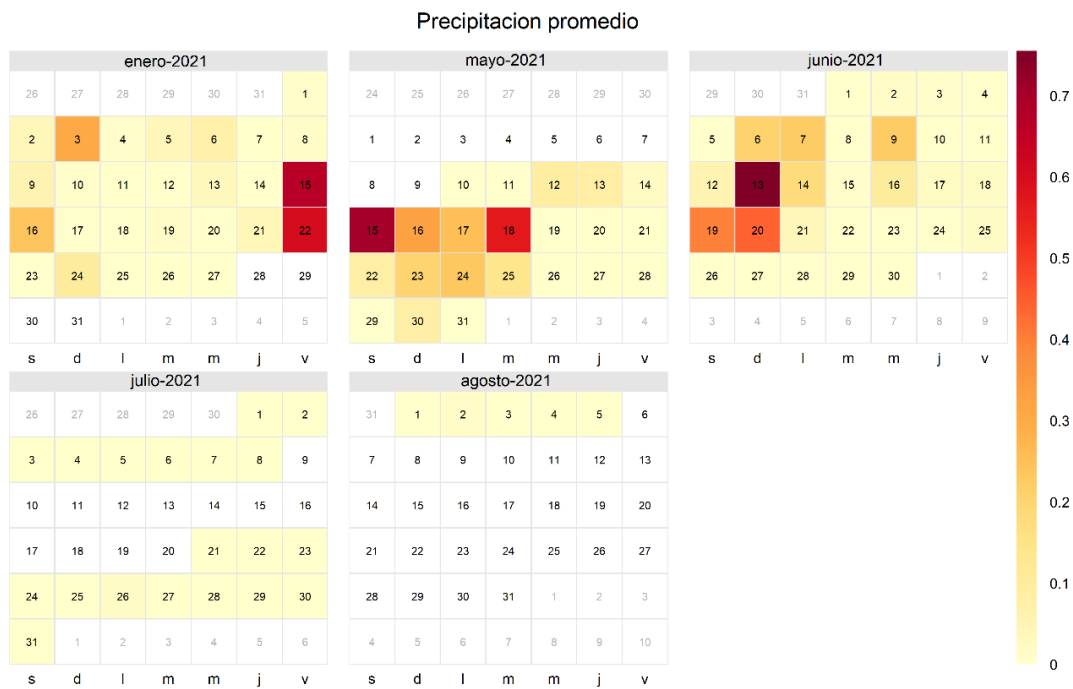
## Anexo 20

Resumen gráfico en forma de calendario que representa el comportamiento anual de los datos de precipitación del año 2020.



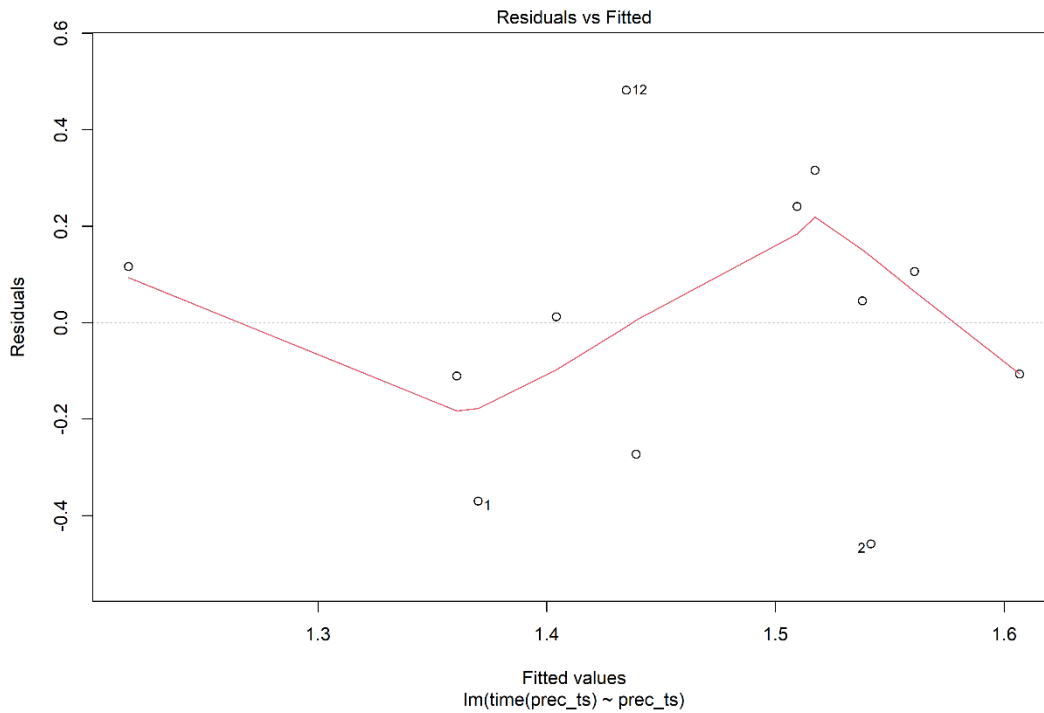
## Anexo 21

Resumen gráfico en forma de calendario que representa el comportamiento anual de los datos de precipitación del año 2021.



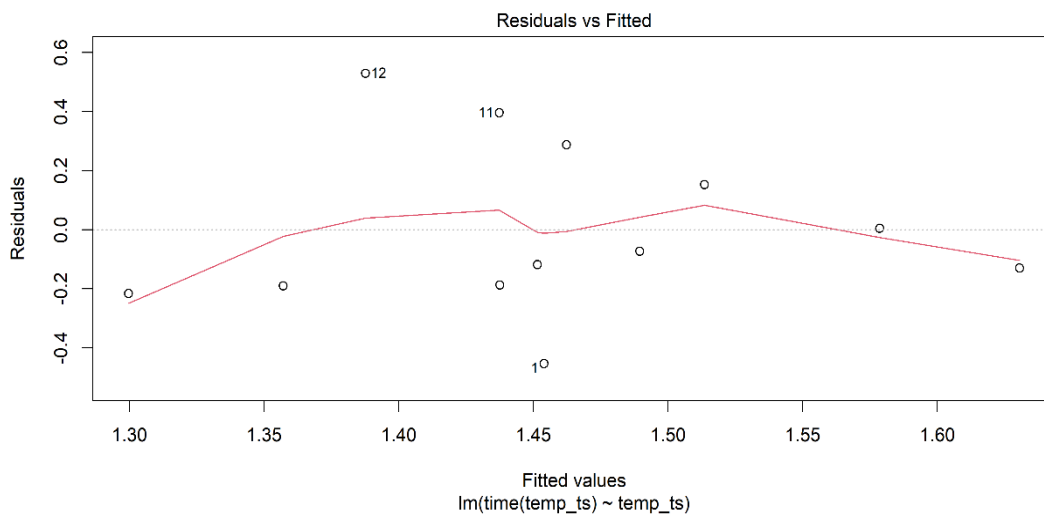
## Anexo 22

Gráfico de dispersión que representa la regresión lineal simple de la serie de tiempo de la precipitación a acumulada de datos mensuales.



## Anexo 23

Gráfico de dispersión que representa la regresión lineal simple de la serie de tiempo de la temperatura a partir la mediana de datos mensuales.



## Anexo 24

Glosario de términos utilizado.

**Acuoso:** Elemento proveniente del agua o que contiene agua en fase líquida o sólida.

**Afelio:** Punto de la órbita del planeta tierra que se encuentra más alejado del Sol.

**Altitud:** Distancia vertical existente a un punto terrestre en relación con el nivel del mar.

**Atmósfera:** Capa gaseosa que rodea la tierra.

**Átomos:** Parte pequeña de una sustancia, que se compone de las propiedades químicas a las que pertenece.

**Barlovento:** Hace referencia a la dirección de la cual proviene el viento hacia un punto. En la presente investigación, se hace referencia a la ladera o parte de una montaña que recibe directamente los vientos del mar.

**Bulbo:** Instrumento de medición que forma parte del termómetro.

**Calidad del aire:** Métrica o indicador la cual viene determinada por las pequeñas cantidades de partículas y contaminantes químicos existentes en el aire en un lugar en particular.

**Climatología:** Ciencia que representa el estudio del clima y sus características.

**Climograma:** Representación visual de las características climáticas de un lugar o región a lo largo de un periodo de tiempo determinado.

**Coalescencia:** Propiedad de un elemento para unirse. En la presente investigación, se hace referencia a la coalescencia o unión de las gotas de agua.

**Coefficiente de correlación:** Medida estadística que cuantifica la intensidad de relación entre dos variables.

**Coefficiente de significancia:** Medida estadística que hace referencia a la probabilidad de rechazo de la hipótesis nula.

**Covarianza:** Medida estadística que permite comprender el comportamiento direccional de dos variables.

**Dataset:** Término en idioma inglés, su significado se traduce a conjunto de datos.

**Ecología:** Ciencia que representa el estudio y relación entre los seres vivos y el medio ambiente o ecosistema.

**Energía cinética:** Energía la cual adquiere un cuerpo al estar en movimiento.

**Error aleatorio:** Término estadístico que indica la desviación entre los valores de una variable observada en contraste con lo obtenido a través de un modelo estadístico.

**Escorrentía:** Agua proveniente de la precipitación que se desplaza por una superficie.

**Estación climática:** Lugar en donde se realizan mediciones sobre diferentes variables meteorológicas.

**Estacionalidad:** Situación de que algo cambia según una estación o temporada. Dichos cambios pueden tener comportamientos regulares y/o predecibles aquellos que pueden repetirse en diferentes periodos de tiempo.

**Gotas super(sobre)-enfriadas:** Gotas de agua que existen a temperaturas bajo cero.

**Gráfico de dispersión:** Grafica representada en un plano de coordenadas que indica valores correspondientes a dos variables, para visualizar su relación.

**Hidrometeoro:** Cualquier producto de condensación o deposición de vapor de agua atmosférico, ya sea que se forme en la atmósfera libre o en la superficie de la tierra

**Hipótesis:** Término estadístico que representa a una suposición o afirmación sobre las características o sucesos de una población.

**Intercepción:** Punto en un plano en donde la recta se cruza con el eje.

**Latitud:** Distancia existente entre un punto de la superficie de la Tierra hasta el paralelo del ecuador (línea ecuatorial). Su valor se lo representa en grados, minutos y segundos.

**Meteorología:** Ciencia que estudia el clima, el tiempo, la atmósfera y sus movimientos dentro de la atmósfera en escalas de tiempo cortas.

**Normalidad:** Término estadístico que representa la distribución de una variable caracterizada por su simetría alrededor de una media de los datos.



**Normalización:** Proceso estadístico, que a través de reglas permite organizar adecuadamente una base de datos.

**Orografía:** Ciencia geografía física que estudia el relieve terrestre.

**Pendiente:** Grado de inclinación de una línea en un plano.

**Pluviómetro:** Instrumento de medición empleado para la precipitación.

**Precipitación:** Partículas acuosas en fase líquida o sólida que se originan en la atmósfera y caen a la superficie de la Tierra.

**Punto de ebullición:** Temperatura a la cual una sustancia (agua) cambia de fase a estado gaseoso.

**Punto de fusión:** Temperatura a la cual una sustancia (agua) cambia de fase a estado líquido.

**Radiación solar:** Energía o conjunto de radiaciones electromagnéticas emitida por el Sol.

**Regresión lineal:** Método de análisis estadístico que indica la relación estimada entre una variable dependiente y una o varias variables explicativas.

**Regresión lineal univariante:** Método de análisis estadístico que indica la relación estimada entre una variable dependiente y una variable explicativa.

**Regresión lineal múltiple:** Método de análisis estadístico que indica la relación estimada entre una variable dependiente y varias variables explicativas.

**Regresión no paramétrica:** Categoría de análisis del método de regresión en la que la variable dependiente no toma una forma predeterminada.

**Residuales:** Valores correspondientes a el resultado de implementación del método de regresión, donde hacen referencia a la diferencia entre los valores de observados y los valores que fueron predichos por el modelo.

**Tamaño de la muestra:** Concepto estadístico que hace referencia a el número o cantidad determinada de sujetos o cosas que componen la muestra extraída de una población.

**Temperatura:** Cantidad física la misma que está caracterizada por el grado de calentamiento de un cuerpo físico.

**Presión atmosférica:** Fuerza ejercida sobre un área determinada.

## **Anexo 24**

Plataforma para la presentación de resultados.

<https://cocoasystem.com/estacionalidad/>

## **Anexo 25**

Código de RStudio utilizado para la presente investigación.

```
#Carga de librerías
```

```
```{r}
```

```
library("readxl")
```

```
library("openair")
```

```
library("lubridate")
```

```
library("forecast")
```

```
library("tseries")
```

```
library("ggplot2")
```

```
library("dplyr")
```

```

library("hydroTSM")
library("zoo")
library("xts")
library("nortest")
...

#Carga de dataset, limpieza y tratamiento de los datos
```{r}

my_data <- read_excel("D:/Downloads/DatosMeteorologicosTemp-Prec2017-2021 (1).xlsx", col_types =
c("text","text", "text", "text", "text", "text"))

#OMISIÓN DE DATOS NULOS
dataset <- na.omit(my_data)

#VISUALIZACIÓN DE DATOS
View(dataset)
str(dataset)
head(dataset, 10)
tail(dataset, 10)

#CONVERSIÓN DE TIPOS DE DATOS
dataset$date <- as.POSIXct(dataset$date ,format="%d/%m/%Y %H:%M:%S")
dataset$tempaire_av <- as.double(dataset$tempaire_av)
dataset$tempaire_min <- as.double(dataset$tempaire_min)
dataset$tempaire_max <- as.double(dataset$tempaire_max)
dataset$precip_sum <- as.double(dataset$precip_sum)
...

#Graficación y visualización de las estadísticas básicas de los datos
```{r}

#RESUMEN DE LOS DATOS
summaryPlot(dataset)

#RESUMEN DE LOS DATOS POR AÑO
summaryPlot(selectByDate(dataset,year=2017))

#RESUMEN DE VARIACIONES DE PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA EN ESCALAS DE TIEMPO
CORTAS
timeVariation(dataset, pollutant = "precip_sum", local.tz = "America/Guayaquil")
timeVariation(dataset, pollutant = "tempaire_av", local.tz = "America/Guayaquil")

```

```

timeVariation(dataset, pollutant = c("tempaire_av", "precip_sum"), normalise = TRUE)

#CALENDAR PLOT DE PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA (POR AÑO)
calendarPlot(dataset, pollutant="precip_sum", year = 2017, main = "Precipitación promedio")
calendarPlot(dataset, pollutant="tempaire_av", year = 2017, main = "Temperatura promedio")

...

#Creación de datasets y series de tiempo para cada análisis
```{r}
#CATEGORIZACIÓN PARA ANÁLISIS DIARIO DE PRECIPITACIÓN ACUMULADA
DF_precip_dia <- data.frame(dataset, Day = as.Date(strptime(dataset$Fecha, "%d/%m/%Y")))
DF_precip_dia_2<-aggregate(cbind(precip_sum) ~ Day, DF_precip_dia, sum)
prec_ts_dia<-ts(DF_precip_dia_2$precip_sum, start=c(2017,1),end=c(2021,12),frequency = 365)

#CATEGORIZACIÓN PARA ANÁLISIS DIARIO DE MEDIANA DE LA TEMPERATURA
DF_temp_dia <- data.frame(dataset, Day = as.Date(strptime(dataset$Fecha, "%d/%m/%Y")))
DF_temp_dia_2<-aggregate(cbind(tempaire_av) ~ Day, DF_temp_dia, median)
temp_ts_dia<-ts(DF_temp_dia_2$V1, start=c(2017,1),end=c(2021,12),frequency = 365)
autoplot(temp_ts_dia)

#CATEGORIZACIÓN PARA ANÁLISIS MENSUAL DE PRECIPITACIÓN ACUMULADA
DF_precip_mes <- data.frame(DF_precip_dia_2, Month = month(as.POSIXlt(DF_precip_dia_2$Day,
format="%d/%m/%Y")))
DF_precip_mes_2<-aggregate(cbind(precip_sum) ~ Month, DF_precip_mes, sum)
prec_ts_mes<-ts(DF_precip_mes_2$precip_sum ,frequency = 12)

#CATEGORIZACIÓN PARA ANÁLISIS MENSUAL DE LA MEDIANA DE LA TEMPERATURA
DF_temp_mes <- data.frame(DF_temp_dia_2, Month = month(as.POSIXlt(DF_temp_dia_2$Day,
format="%d/%m/%Y")))
DF_temp_mes_2<-aggregate(cbind(tempaire_av) ~ Month, DF_temp_mes, median)
temp_ts_mes<-ts(DF_temp_mes_2$tempaire_av ,frequency = 12)

#GRÁFICA PARA CADA SERIE DE TIEMPO
plot(prec_ts_dia)

```

```

autoplot(stl(prec_ts_dia, s.window = "periodic"))

ggplot(prec_ts_dia, aes(x = time(prec_ts_dia) , y = prec_ts_dia)) + geom_point() + geom_smooth(method=lm,
se=FALSE)

...

#Análisis de correlación, significancia y normalidad de los datos
```{r}
#GRÁFICO DE DISPERSIÓN ENTRE AMBAS VARIABLES
ggplot(data = dataset, aes(x=precip_sum,y=tempaire_av))+
  geom_point(colour = "violetred4") +
  ggtitle("Diagrama de dispersión") +
  theme_bw() +
  theme(plot.title = element_text(hjust = 0.5))

#ANÁLISIS DE NORMALIDAD
qqnorm(dataset$tempaire_av, main = "Temperatura", col = "darkred")
qqline(dataset$tempaire_av)
qqnorm(dataset$precip_sum, main = "Precipitación", col = "darkred")
qqline(dataset$precip_sum)

#NORMALIDAD DE LOS DATOS (MÉTODO KOLMOGOROC-SMIRNOV) A PARTIR DE LAS SERIES DE
TIEMPO
lillie.test(prec_ts_dia)

#CORRELACIÓN MEDIANTE EL MÉTODO DE PEARSON
cor(x = dataset$tempaire_av, y = dataset$precip_sum, method = "pearson")
cor.test(x = dataset$tempaire_av,
  y = dataset$precip_sum,
  alternative = "two.sided",
  conf.level = 0.95,
  method = "pearson")

...

```

```

#Modelos de regresión simple diarios y mensuales para precipitación y temperatura a partir de las series de tiempo
```{r}
#PRECIPITACIÓN DIARIA
model <- lm(time(prec_ts_dia)~prec_ts_dia, data = prec_ts_dia)
#PRECIPITACIÓN MENSUAL
model_1 <- lm(time(prec_ts_mes)~prec_ts_mes, data = prec_ts_mes)
#TEMPERATURA DIARIA
model_2 <- lm(time(temp_ts_dia)~temp_ts_dia, data = temp_ts_dia)
#TEMPERATURA MENSUAL
model_3 <- lm(time(temp_ts_mes)~temp_ts_mes, data = temp_ts_mes)

#GRAFICACIÓN Y SUMMARY DE LOS MODELOS
plot(model_2,1)
summary(model_2)

```

#Regresión múltiple a partir de los datos diarios
```{r}
DF <- data.frame(dataset, Day = as.Date(strptime(dataset$Fecha, "%d/%m/%Y")))
#DIAS DEL AÑO
precipitacion_diaria=c(aggregate(cbind(precip_sum) ~ Day, DF, sum))
temp_av_diaria=c(aggregate(cbind(tempaire_av) ~ Day, DF, median))

DF_3<-data.frame(precipitacion_diaria$Day,precipitacion_diaria$precip_sum,temp_av_diaria$tempaire_av)

colnames(DF_3) <- c("Date","Precip","Temp")

ts<-ts(DF_3, start=c(2017,1), end=c(2021,12),frequency = 365)

model <- lm(time(ts) ~ Precip + Temp, data = ts)

plot(model,1)
summary(model)

```

```

#Hydroplot y Climograma

```{r}

#EN CASO DE ESTE ANÁLISIS SE MODIFICA EL ARCHIVO PARA OBTENER LOS RESULTADOS

```
my_data <- read_excel("D:/Downloads/DatosMeteorologicosTemp-Prec2017-2021 (2).xlsx", col_types =  
c("text", "text", "text", "text", "text"))
```

#CONVERSION DE FECHA

```
fecha = strptime(my_data$Fecha, "%d/%m/%Y %H:%M:%S")
```

```
my_data$tempaire_av <- as.double(my_data$tempaire_av)
```

```
my_data$tempaire_min <- as.double(my_data$tempaire_min)
```

```
my_data$tempaire_max <- as.double(my_data$tempaire_max)
```

```
my_data$precip_sum <- as.double(my_data$precip_sum)
```

```
DF <- data.frame(my_data, Day = as.Date(strptime(my_data$Fecha, "%d/%m/%Y")))
```

#DIAS DEL AÑO

```
precipitacion_diaria=c(aggregate(cbind(precip_sum) ~ Day, DF, sum))
```

```
temp_max_diaria=c(aggregate(cbind(tempaire_max) ~ Day, DF, median))
```

```
temp_min_diaria=c(aggregate(cbind(tempaire_min) ~ Day, DF, median))
```

```
temp_av_diaria=c(aggregate(cbind(tempaire_av) ~ Day, DF, median))
```

```
DF_1<-data.frame(precipitacion_diaria,temp_max_diaria,temp_min_diaria, temp_av_diaria)
```

```
dates <- seq(as.POSIXct("2017-01-01"), as.POSIXct("2021-12-31"), by = "days")
```

```
datos <- xts(x =as.double(DF_1$precip_sum) , order.by=dates)
```

```
datos2 <- xts(x =as.double(DF_1$tempaire_min) , order.by=dates)
```

```
datos3 <- xts(x =as.double(DF_1$tempaire_max) , order.by=dates)
```

```
x <- window(datos, start=as.POSIXct("2017-01-01"))
```

```
x1 <- window(datos2, start=as.POSIXct("2017-01-01"))
```

```
x2<- window(datos3, start=as.POSIXct("2017-01-01"))
```

```
x1[x1==0]<-NA
```

```
x2[x2==0]<-NA
```

```
hydroplot(x1, var.type="Temperature", main="in Cuenca", pfreq = "dma", from="2017-01-01")
```

```
m <- climograph(pcp=x, tmx=x2, tmn=x1, na.rm=TRUE)
```

```
...
```