

**INSTITUTO DE ALTOS ESTUDIOS NACIONALES**  
LA UNIVERSIDAD DE POSGRADO DEL ESTADO

**REPÚBLICA DEL ECUADOR**

**INSTITUTO DE ALTOS ESTUDIOS NACIONALES**  
**LA UNIVERSIDAD DE POSGRADO DEL ESTADO**

**MAESTRÍA EN PREVENCIÓN Y GESTIÓN DE RIESGOS**

**Análisis Espectral De Los Eventos Extremos De La Precipitación En El Distrito**  
**Metropolitano De Quito Durante Los Años 2000-2020**

**Autor:** Johanna Fernanda Dueñas Durán

**Tutor:** Pablo Edilberto Melo Coy

**Quito, octubre 2021**



## **ACTA DE GRADO**

En el Distrito Metropolitano de Quito, hoy 28 de marzo de 2022, **JOHANNA FERNANDA DUEÑAS DURAN**, portadora del número de cédula: 1003057864, **EGRESADA DE LA MAESTRÍA EN PREVENCIÓN Y GESTIÓN DE RIESGOS (2019-2021)**, se presentó a la defensa del Artículo Científico, con el tema: "**ANÁLISIS ESPECTRAL DE LOS EVENTOS EXTREMOS DE LA PRECIPITACIÓN EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO DURANTE LOS AÑOS 2000-2020**", dando así cumplimiento al requisito, previo a la obtención del título de **MAGÍSTER EN PREVENCIÓN Y GESTIÓN DE RIESGOS**.

Habiendo obtenido las siguientes notas:

Promedio Académico: 9.27  
Artículo Científico: 8.25  
Defensa Oral Artículo Científico: 9.50

**Nota Final Promedio: 9.07**

En consecuencia, **JOHANNA FERNANDA DUEÑAS DURAN**, se ha hecho acreedora al título mencionado.

Para constancia firman:

**Mgs. Gualdemar Jiménez**  
**PRESIDENTE**

**Dra. Johanna Espín**  
**MIEMBRO**

**Dr. Fernando Barragán**  
**MIEMBRO**

**Abg. Juan Maldonado.**  
**DIRECTOR DE SECRETARÍA GENERAL**



**INSTITUTO DE ALTOS ESTUDIOS NACIONALES**  
LA UNIVERSIDAD DE POSGRADO DEL ESTADO

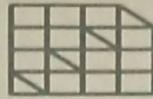
### **AUTORÍA**

Yo, Johanna Fernanda Dueñas Durán, máster en Prevención y gestión de riesgos, con CC 100305786-4 , declaro que las ideas, juicios , valoraciones , interpretaciones, consultas bibliográficas, definiciones y conceptualizaciones expuestas en el presente trabajo , así como los procedimientos y herramientas utilizadas en la investigación, son de absoluta responsabilidad de la autora del trabajo de titulación. Asimismo, me acojo a los reglamentos internos de la universidad correspondientes a los temas de honestidad académica.

---

Firma

CC 100305786-4



**INSTITUTO DE ALTOS ESTUDIOS NACIONALES**  
LA UNIVERSIDAD DE POSGRADO DEL ESTADO

## **AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN**

Autorizo al Instituto de Altos Estudios Nacionales (IAEN) la publicación de este artículo **Análisis Espectral De Los Eventos Extremos De La Precipitación En El Distrito Metropolitano De Quito Durante Los Años 2000-2020**, de su bibliografía y anexos, como artículo en publicaciones para lectura seleccionada o fuente de investigación, siempre dando a conocer el nombre del autor y respetando la propiedad.

Quito, octubre, 2021.

**JOHANNA FERNANDA DUEÑAS DURÁN**  
CC: 1003057864

## *Título*

Análisis espectral de los eventos extremos de la precipitación en el Distrito Metropolitano de Quito durante los años 2000-2020

## *Resumen*

La precipitación es uno de los fenómenos meteorológicos con mayor incidencia en el desarrollo socio-económico del ser humano, por lo que se han desarrollado varias técnicas para obtención de estos datos, desde la creación de equipos que adquieran valores directos de lluvia hasta técnicas de interpolación satelital, así como técnicas para su análisis y comprensión. En el presente estudio se analizan dos tipos de bases de datos (mediciones de estaciones & CHIRPS), así como dos tipos principales de análisis, mapas de calor con frecuencias acumuladas y ondeletas; obteniendo resultados que estableces horas y meses con mayor presencia de precipitación; Además, se definieron dos tendencias a lo largo del territorio estudiado que indican claramente como las diferentes corrientes atmosféricas y la topografía del terreno se conjugan; resaltando periodos cíclicos que van desde los 3 meses hasta los 48 meses, siendo estos últimos posibles eventos extremos.

## *Abstract*

Precipitation is one of the meteorological phenomena with the greatest impact on the socio-economic development of the human being, for which several techniques have been developed to obtain this data, from the creation of equipment that acquires direct rainfall values to interpolation techniques. satellite, as well as techniques for its analysis and understanding. In the present study, two types of databases are analyzed (station measurements & CHIRPS), as well as two main types of analysis, heat maps with accumulated frequencies and wavelets; obtaining results that establish hours and months with the greatest presence of precipitation; In addition, two trends were defined throughout the studied territory that clearly indicate how the different atmospheric currents and the terrain topography combine; highlighting cyclical periods ranging from 3 months to 48 months, the latter being possible extreme events.

## *Palabras clave*

Precipitación, eventos extremos, análisis multitemporal, eventos cíclicos.

## **Introducción**

A diario el planeta envía mensajes desde diferentes puntos geográficos, referente a la transformación climática que está ocurriendo (Naciones Unidas, 2020). Esta variación en el clima se lo conoce como cambio climático, que se refiere a la alteración de este con respecto al historial climático mundial o regional, involucrando a varios parámetros meteorológicos como la temperatura, las precipitaciones, sucesos de eventos extremos como sequías, inundaciones, tormentas tropicales, entre otros; que afectan los recursos naturales del planeta.

La humanidad depende de los recursos hídricos provenientes de la precipitación y la evapotranspiración, las cuales son parte fundamental del ciclo hídrico, debido a que contribuyen con el movimiento del agua en la Tierra, aportando con el almacenamiento de esta en la atmósfera, superficie terrestre, subsuelo, océanos y mares. Este ciclo se ve perturbado por el cambio del clima, afectando en tiempo y espacio a los recursos hídricos disponibles; estas variaciones en las precipitaciones condicionan directamente el agua que cae sobre los continentes y los cambios de temperatura modifica los valores de la evapotranspiración alterando las escorrentías. (Iglesias, Estrela, & Gallart, 2005)

Varios autores han observado un incremento generalizado de la intensidad de las precipitaciones en las latitudes medias, así como un incremento de las precipitaciones intensas en Sudáfrica, Siberia, el centro de México, el noreste de los EEUU y el norte de Japón; en el 2002 en la República Checa, el río Moldava alcanzó su caudal máximo conocido en 175 años, el cual fue superior a los 5000 m<sup>3</sup> /s; en el mismo año en Europa se registra el record de daños económicos ocasionados por las inundaciones, los cuales sobrepasaron los 21000 millones de euros (Rosales Gonzales, 2013).

Las precipitaciones en la costa de América del Sur se caracterizan por una compleja variación tanto espacial como temporal debido a su topografía. (Rau, y otros, 2017), esto genera la necesidad de establecer patrones de precipitación que permitan al ser humano estar a la par con la naturaleza, debido a que gran parte de las amenazas naturales están relacionadas con fenómenos hidrometeorológicos y movimientos en masa, que constituyen

un aspecto determinante en el desarrollo socio-económico y cultural de los pueblos (Municipio Quito, 2015).

Debido a los sucesos relacionados con la precipitación la búsqueda de tendencias en las series de datos históricos son de gran interés científico para establecer técnicas que permitan prevenir posibles afectaciones, identificar los tiempos de retorno de los diferentes evento, establecer mese y horas de mayor frecuencia, así como los valores de precipitación que presentan en cada temporalidad; como el realizado en Ghana, donde mediante el análisis espacio- temporal de la precipitación entre los años 1901 -2010, establecieron una fuerte periodicidad anual acompaña de una señal de 4 a 8 meses en todas las zonas agroecológicas, además mediante la comparación entre el promedio móvil de 5 años y las anomalías decenales concluyen que la cantidad de lluvia está disminuyendo significativamente lo que provocará consecuencias negativas en la práctica agrícola y la seguridad alimentaria. (Baidu, Amekudzi, Aryee, & Annor, 2017); en Singapur mediante el análisis de las bases de datos de la red meteorológica horaria determinaron la estrecha relación entre las variaciones tendenciales de precipitación diarias-anales, con ENSO y la temperatura superficial del mar, concluyendo además que el régimen de lluvias ha cambiado significativamente durante los últimos 30 años mostrando un incremento significativo en los totales anuales de un 17%, así como en los valores de precipitación hora-día los cuales tienden a incrementarse rápidamente.

El Ecuador es una país con un alto índice de variabilidad climática, esto es debido a su ubicación geográfica, variabilidad topográfica y debido a que se encuentra en la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), afectado por varios fenómenos atmosféricos como el Fenómeno del Niño y la Niña (ENSO por sus siglas en inglés El Niño South Oscillation), la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO por Pacific Decadal Oscillation) y el Fenómeno Modoki, lo que genera un gran impacto al país por la variación en los patrones de precipitación (Vincenti, y otros, Análisis estadístico de datos meteorológicos mensuales y diarios para la determinación de variabilidad climática y cambio climático en el Distrito Metropolitano de Quito., 2012).

En el DMQ, se han producido una serie de eventos adversos relacionados con fenómenos hidrometeorológicos que han puesto en evidencia la alta vulnerabilidad del DMQ, uno de

los casos es el suscitado por aluviones que afectaron zonas urbanas, generando devastación en la comuna “Santa Clara de San Millán” (Municipio Quito, 2015), los cuales podrían haber sido evitados mediante el análisis de las variaciones en la magnitud y frecuencia de la precipitación, para establecer problema en las zonas de drenajes. (Merino, Ramírez, & Peña, 2020). Otro claro ejemplo es lo sucedido en el invierno del 2010 donde se multiplicaron las lluvias generando movimientos en masa en varias zonas; en el sector de la Floresta ocurrió un gran deslizamiento que ocasionó la evacuación y relocalización de un centenar de familias, 6 muertos y el cierre de la circulación vehicular en la avenida Simón Bolívar (Municipio Quito, 2015). Como se puede observar, el agua tiene un alto poder erosivo, así como la facilidad de transportar materiales aguas abajo, por lo que una precipitación fuerte pero de corta duración podría no permitir el desfogue normal causando inundaciones (Masís Campos & Vargas Picado, 2014).

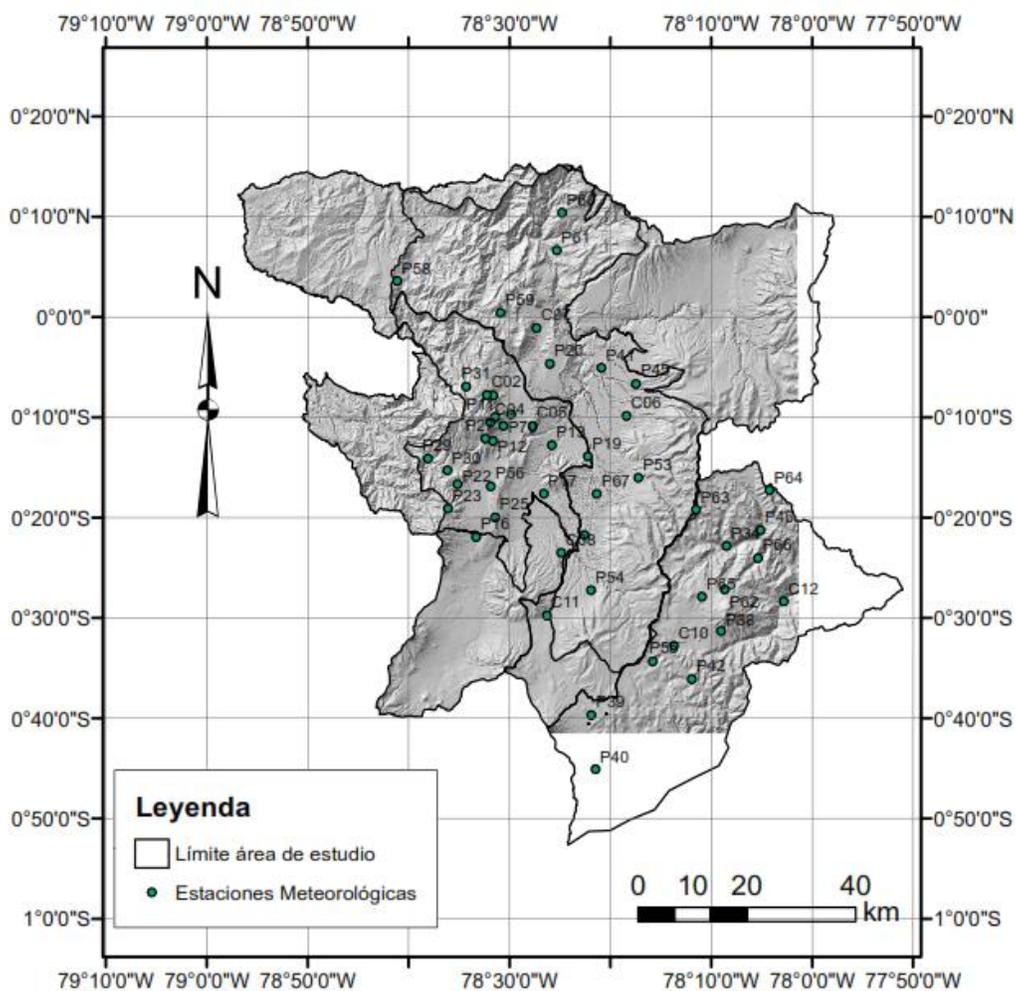
Es importante mencionar que el cantón Quito establece que el agua disponible es de 8693 mm/año, determinando este valor en base a la relación entre los niveles de precipitación y la evapotranspiración, frente a lo cual EMAAP-Q plantea un incremento del 73% en la demanda de este recurso para el año 2055. (Sistema Nacional de Información, 2015)

Este estudio pretende establecer la ciclicidad de la precipitación dentro del área de interés a diferentes niveles como lo es horario, mensual y anual; definiendo zonas con características espacio-temporales similares y a su vez permitirá establecer la posible existencia de variaciones en los niveles de precipitación a lo largo del periodo estudiado; estos resultados brindará herramientas a las autoridades para establecer planes de prevención debido a la oferta y demanda que tiene este recurso, generar ciudades resilientes, abarcando las cuatro prioridad de acción dentro del Marco de Sendai, al permitirnos comprender el riesgo de desastre, para con esto poder fortalecer la gestión de este, siendo eficaz y eficiente generando mejoras.

## Desarrollo

### Área de estudio

El área de estudio se centrará en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) ubicado en la Provincia de Pichincha, en la región norte de Ecuador. Su particular posición geográfica y su territorio irregular con rangos altitudinales que van desde los 490 msnm, en las parroquias del subtrópico como Gualea y Pacto, hasta los 4.950 msnm, en la cima del Sincholagua determinan la existencia de una variedad de climas. (Secretaría de Seguridad DMQ, 2015). En la figura 1 se observa las estaciones meteorológicas que forman parte del estudio.



### *Materiales y Métodos*

Se utilizó un diseño de investigación longitudinal de tendencia, donde los datos de precipitación se obtuvieron de dos fuentes: Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento de Quito en conjunto con el Fondo para la Protección del Agua, que están constituida por 56 estaciones meteorológicas dentro del Distrito Metropolitano de Quito, de las cuales 12 estaciones son climatológicas y 44 son pluviométricas; y la segunda base de datos fue obtenida de imágenes satelitales Climate Hazards Group Infrared Precipitation with Station data (CHIRPS v.2) que es una de las varias bases de datos climáticas de precipitación que procesa imágenes satelitales para obtener series de tiempo.

### *Tratamiento de la base de datos*

Para la homogenización de la base de datos de la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento de Quito en conjunto con el Fondo para la Protección del Agua, se utilizaron los siguientes criterios para mejorar la calidad de la data: primero se procedió a seleccionar las estaciones meteorológicas que se encontraban operativas, posterior a esto se determinó aquellas estaciones que tenían menos del 35% de datos perdidos, reduciendo de 56 a 50 estaciones con las cuales se trabajaron.

Las estaciones se encuentran distribuidas a lo largo de la provincia de Pichincha desde zonas de valle con altitudes desde 1600 m.s.n.m hasta zonas elevadas con altitudes superiores a 4000 m.s.n.m. Las series de precipitación incluidas en el estudio están dadas de forma horaria en el periodo 2000-2019, los valores de precipitación están tomados en milímetros de precipitación.

Esta base de datos fue descarga a través de la plataforma Google Earth Engine, siendo necesario la elaboración de códigos que permitieron la obtención de datos de precipitación diaria desde 1981 hasta 2020, en esta base de datos no existieron valores perdidos por lo que no es necesario realizar una homogenización de datos. Estos datos satelitales cuentan con una resolución de 0.05°, ajustadas con datos de estaciones in situ, con una extensión espacial comprendida entre las latitudes 50°S y 50°N y a lo largo de todas las longitudes. El proceso para la generación de los datos de CHIRPS se basa en tres principales componentes: Climate Hazards Precipitation Climatology (CHPClim); Climate Hazard Group Infrared Precipitation (CHIRP) y observaciones in situ de precipitación obtenidas a

partir de varias fuentes, los cuales en proceso permiten generar las series históricas de cuadrículas pluviométricas (Funk, y otros, 2015)

Para realizar este trabajo se utilizaron varias técnicas de análisis, iniciando con gráficas de Isoyetas las cuales son líneas que unen puntos que tiene el mismo nivel de precipitación, permitiendo que se obtenga una distribución espacial de estas (Govaere, 1974). Gráficos de frecuencias acumuladas representados en los mapas de calor o heatmaps los cuales consisten en desplegar la sumatoria de la variable mediante una paleta de colores donde en el eje de las ordenadas observamos los meses y en las abscisas las horas, permitiendo establecer de manera clara los diferentes horarios de precipitación a lo largo del año. Análisis de ondeletas, la transformada de ondeleta, permite seccionar los datos en pequeños componente, es decir una señal compleja se descompone en bloques elementales en este caso escala frecuencia–tiempo y permite analizarlos cada uno por separado, permitiendo a su vez, limpiar la señal de interferencia externa (Saavedra-Gstélum, Fernández-Harmony, Harmony-Baillet, & Castaño-Meneses, 2006). En la figura 2 se puede observar las principales fases del procesamiento de datos.

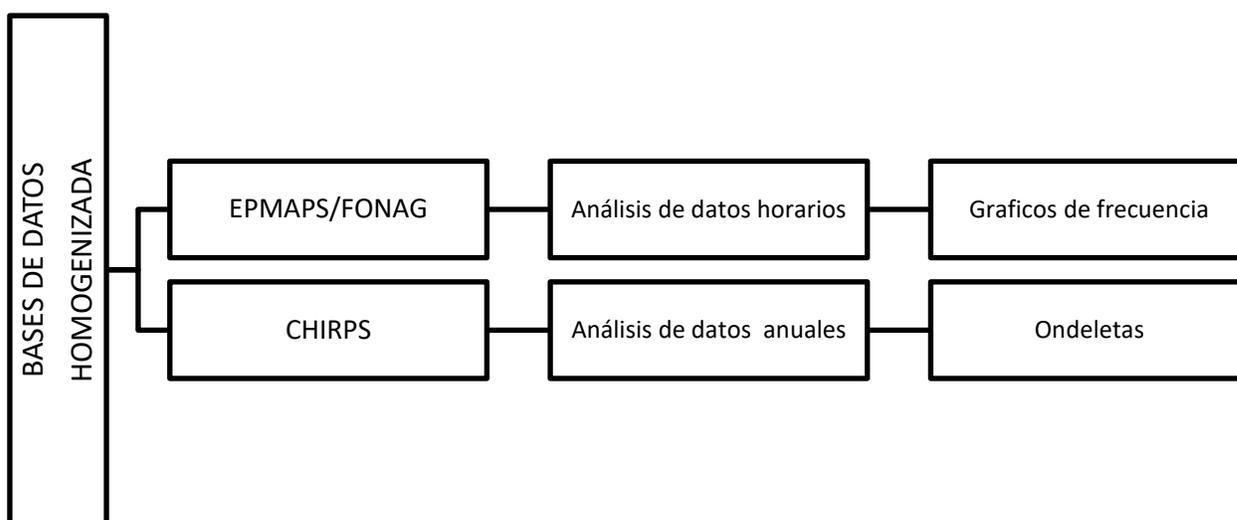


Figura 2. Fases del procesamiento de los datos

Con el fin de trabajar en el procesamiento de datos, se usó el programa R en la versión 4.0.3 y en particular su IDE RStudio, versión 1.4.1103

### Selección de estaciones representativas

Para la selección de las estaciones objetivo en el presente trabajo se tomó como referencia la técnica de k-means, usada en Palacios D. (2021 en preparación), dividiendo la zona de estudio en cuatro regiones, obteniendo siete estaciones representativas dentro del DMQ (Tabla 1)(Figura 3 ), las cuales son las más cercanas al centroide.

Tabla 1. Estaciones seleccionadas para el estudio

Nombre	COORDENADAS		
	X	Y	Z
Toctiuco	496962,947	9977180,178	3200,000
Cumbaya	507800,339	9976387,817	2339,856
San Francisco	495580,290	9977632,631	3578,509
Tanque Solanda	496576,513	9968833,192	2916,852
San José de Minas	509664,021	10019182,052	2466,377
Blanco Chico Alto	539591,676	9949890,687	4320,000
Laguna Encantada	547840,085	9968126,568	4000,811

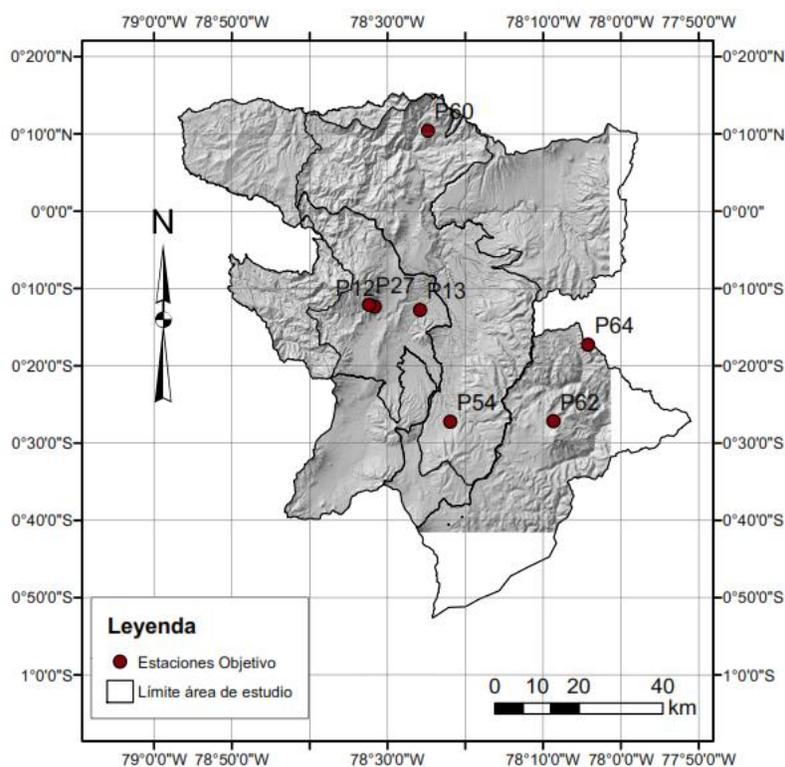


Figura 3. Mapa estaciones representativas

## Resultados y discusión

### EPMAPS/FONAG

Como primer paso se realizó la homogenización de la base de datos encontrando el 7,66% de datos perdidos, entonces, se continuó con el proceso para establecer la precipitación anual, mensual y horaria, generando diferentes gráficos para poder determinar la ciclicidad de las precipitaciones en las diferentes escalas.

En la Figura 4 se observa un mapa de isoyetas con un rango de entre 310 – 3092 mm/año, donde la paleta de colores sube a una tonalidad roja a medida que el valor de precipitación aumenta, mostrando una clara disminución de precipitación hacia el centro del área estudiada.

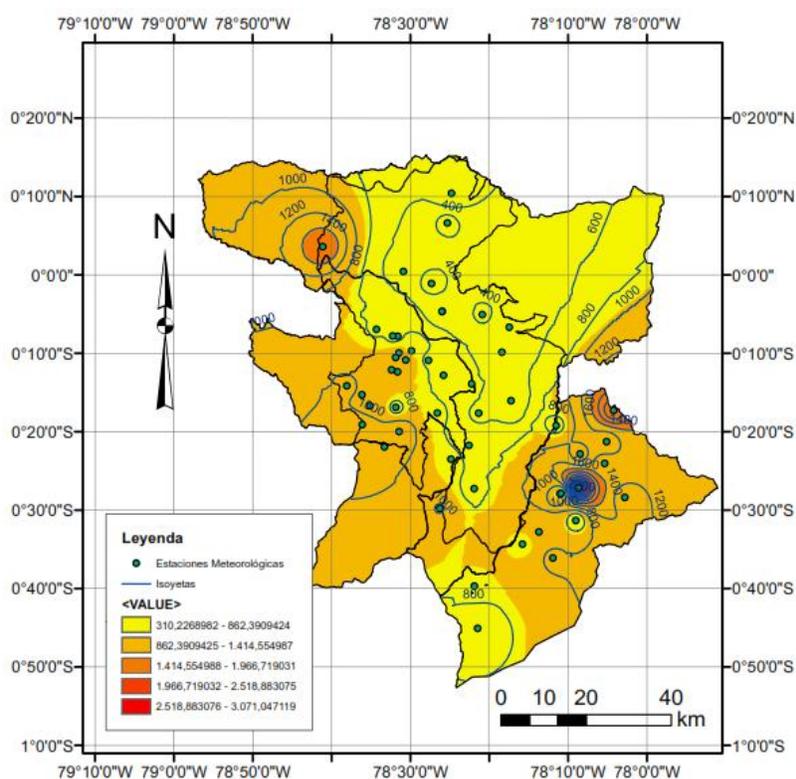


Figura 4 Mapa Isoyetas de los valores de precipitación por año del periodo 2008 – 2019

Con estos datos se realizó principalmente el análisis horario para establecer los meses más lluviosos y las horas en las que estas precipitaciones alcanzan mayores niveles; cada punto de intersección está representado por un valor de precipitación obtenido de la suma de cada

año, observando un rango de precipitación diaria menor o igual a 1mm de precipitación que varía según la hora y el mes (ver Figura 5).

En la Figura 4 se observó que las precipitaciones se dan durante dos periodos el primero de enero-junio y un segundo periodo de septiembre –diciembre. En el periodo de enero a junio, con respecto a la distribución horaria podemos observar la existencia de dos grupos, el primero que va desde las 12:00 hasta las 23:00 con una precipitación de entre 0,04 hasta 0,79 mm/h, presentándose los picos máximos entre las 14:00 hasta 16:00 en los meses de febrero a abril; con respecto al segundo grupo horario este va desde las 00:00 hasta las 05:00 con una precipitación de entre 0,016 hasta 0,23 mm/hora, con picos máximos entre las 00:00 hasta 02:00 en los meses de febrero y marzo, observándose una menor precipitación en los meses de mayo y junio.

En el periodo de septiembre a diciembre observamos un rango de precipitación que va desde las 12:00 hasta las 05:00 con una precipitación de ente 0.09 hasta 0.9 mm/hora, con picos máximos de precipitación en las horas 13:00 hasta las 19:00. Aquí podemos observar que existe una menor cantidad de precipitación en las madrugadas a diferencia que con el primer periodo, mientras que en la tarde existe mayor intensidad de lluvia distribuida en ciertas horas.

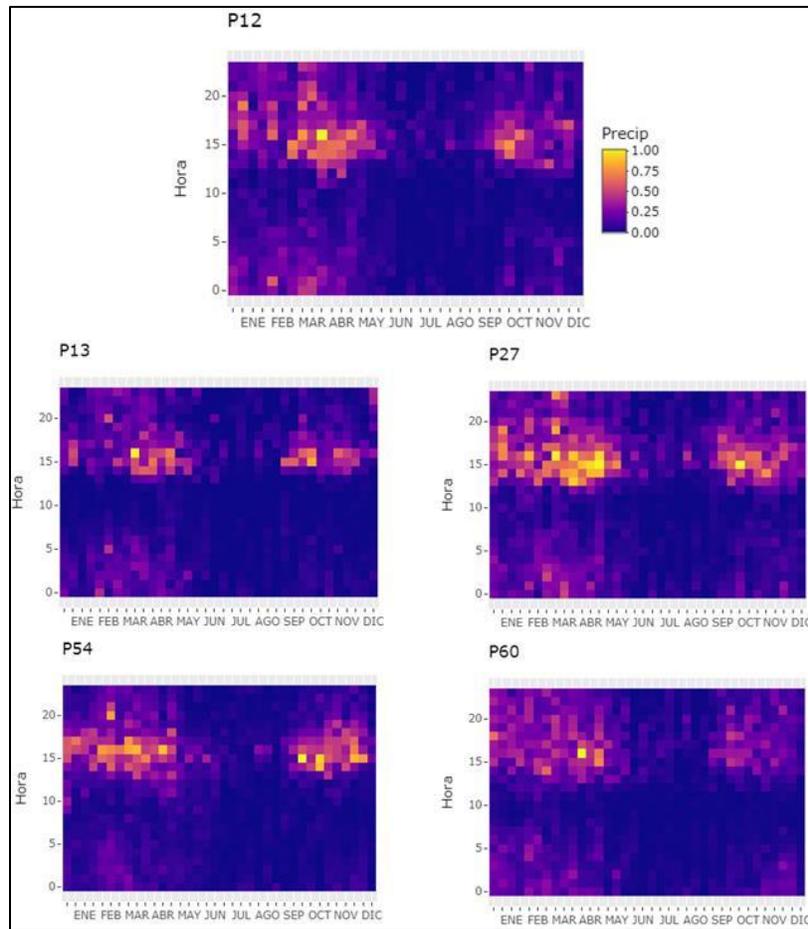


Figura 5 Mapa de calor de precipitaciones a nivel horario de las estaciones estudiadas que se encuentran hacia el occidente.

Con respecto a la Figura 6, se puede observar una distribución de precipitación bastante homogénea a lo largo de todo el año, donde en los meses de mayo a agosto las precipitaciones se presentan en un rango temporal que va desde las 13:00 hasta las 17:00 con precipitaciones que van de entre 0.7-1.2 mm/hora se debe resaltar que este valor máximo no se presenta de forma continua. Además se observa que en los meses de octubre y noviembre existe una disminución de precipitación en un 70%.

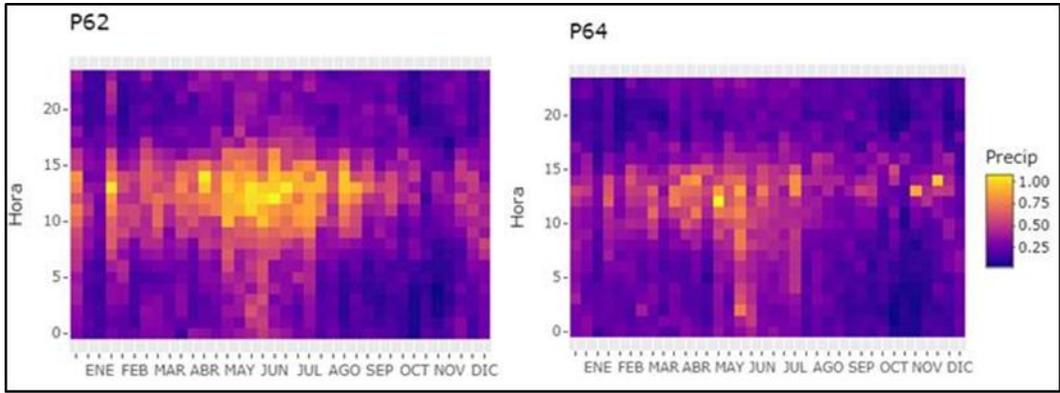


Figura 6 Mapa de calor de precipitaciones a nivel horario de las estaciones estudiadas que se encuentran hacia el oriente.

En la Figura 7 se observa claramente dos tendencias horarias de precipitación, en la parte derecha se visualiza dos de las estaciones (P64-P62) que son afectada por las corrientes amazónicas cuya precipitación se distribuye a lo largo de todo el año, con mayor intensidad en las tardes; y en la parte izquierda podemos observar aquellas estaciones que se encuentran en la región interandina cuya mayor precipitación se da en los meses de marzo – abril, con un incremento de intensidad en las tardes.

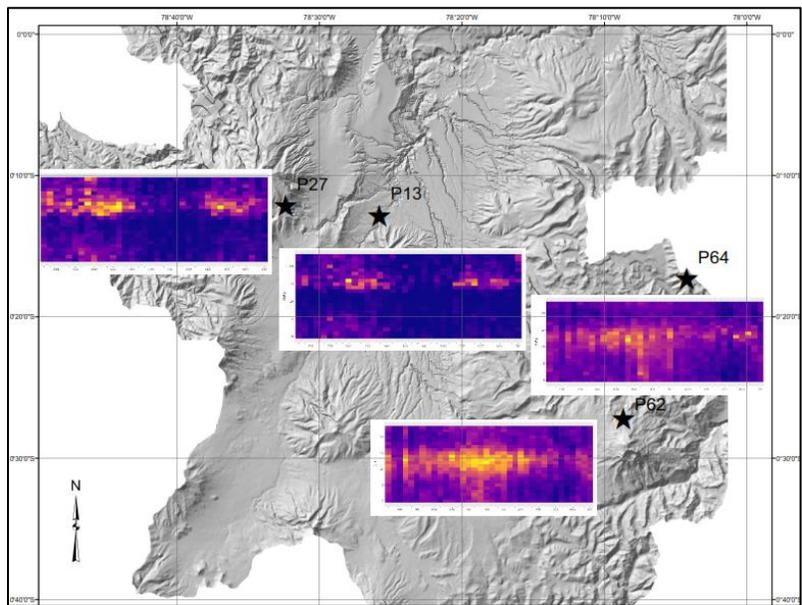


Figura 7 Mapa de calor comparativo entre estaciones orientales y occidentales

### *Analisis De Ondeletas*

Dentro del análisis de ondeletas se observó la existencia de eventos cíclicos a lo largo del periodo estudiado, los cuales se muestran en las Figuras 8 y 9, en la cual el eje de las ordenadas esta dado por los años estudiados y en el eje de las abscisas la distribución temporal dada en meses, mostrando eventos recurrentes que van desde los 3 meses hasta los 64 meses.

En la figura 8 se observa el comportamiento cíclico de las estaciones centrales, que muestran periodos de retorno bien definidos cada 12 meses lo que coincide con nuestros eventos de precipitación anuales que se dan en los periodos de febrero a abril los cuales se establecieron en los gráficos de frecuencias acumuladas, además se observa una cierta ciclicidad cada 6 meses que coincide con los eventos de precipitación de septiembre a diciembre, cuyas características son de menores precipitaciones.

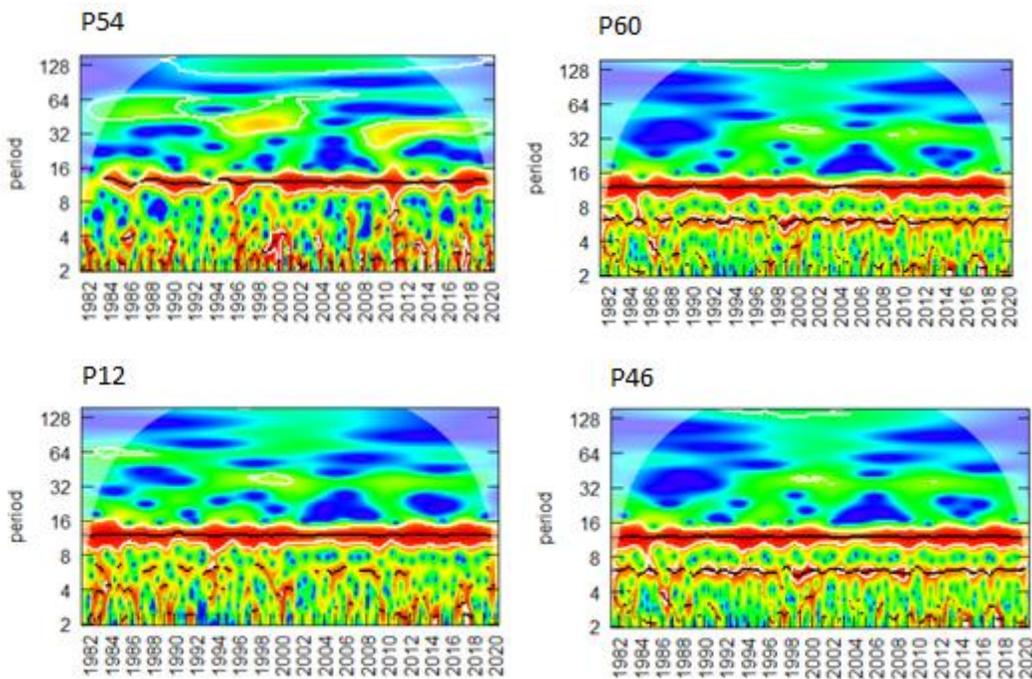


Figura 8 Estaciones con ciclicidad a los 12 meses.

En la figura 9 se visualizan las estaciones que se encuentran hacia las partes más orientales y occidentales del DMQ, observando que la ciclicidad en estas zonas están menos marcadas. Los eventos cíclicos cuentan con un periodo de retorno de 12 meses los cuales

tienden a interrumpirse durante lapsos de 4 años, mientras que los demás eventos se encuentran dispersos a lo largo de la línea de tiempo que va desde los 3 meses hasta los 11 meses.

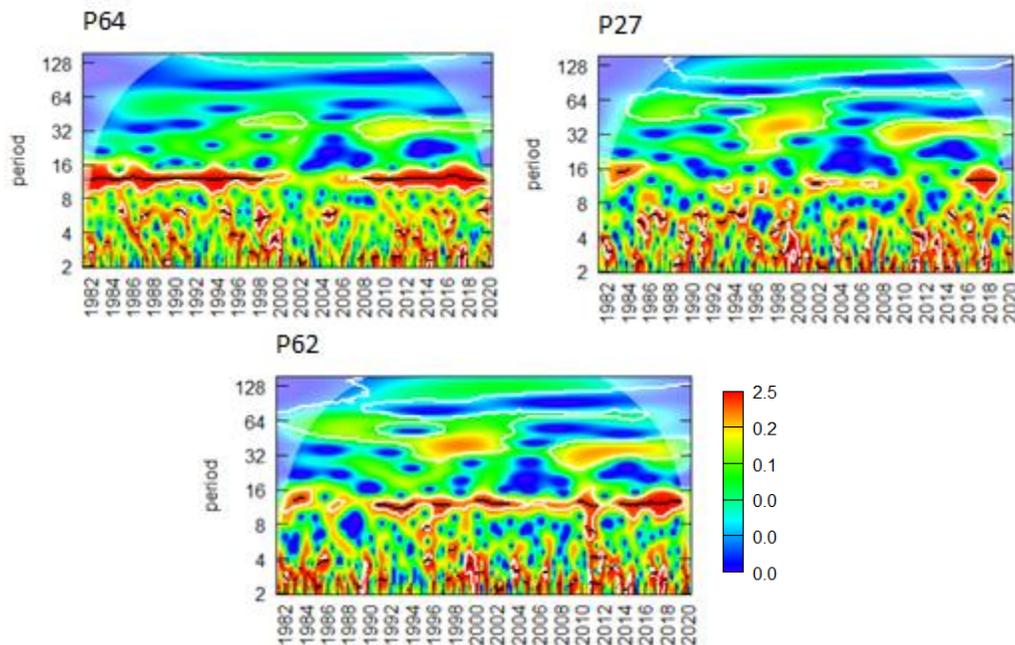
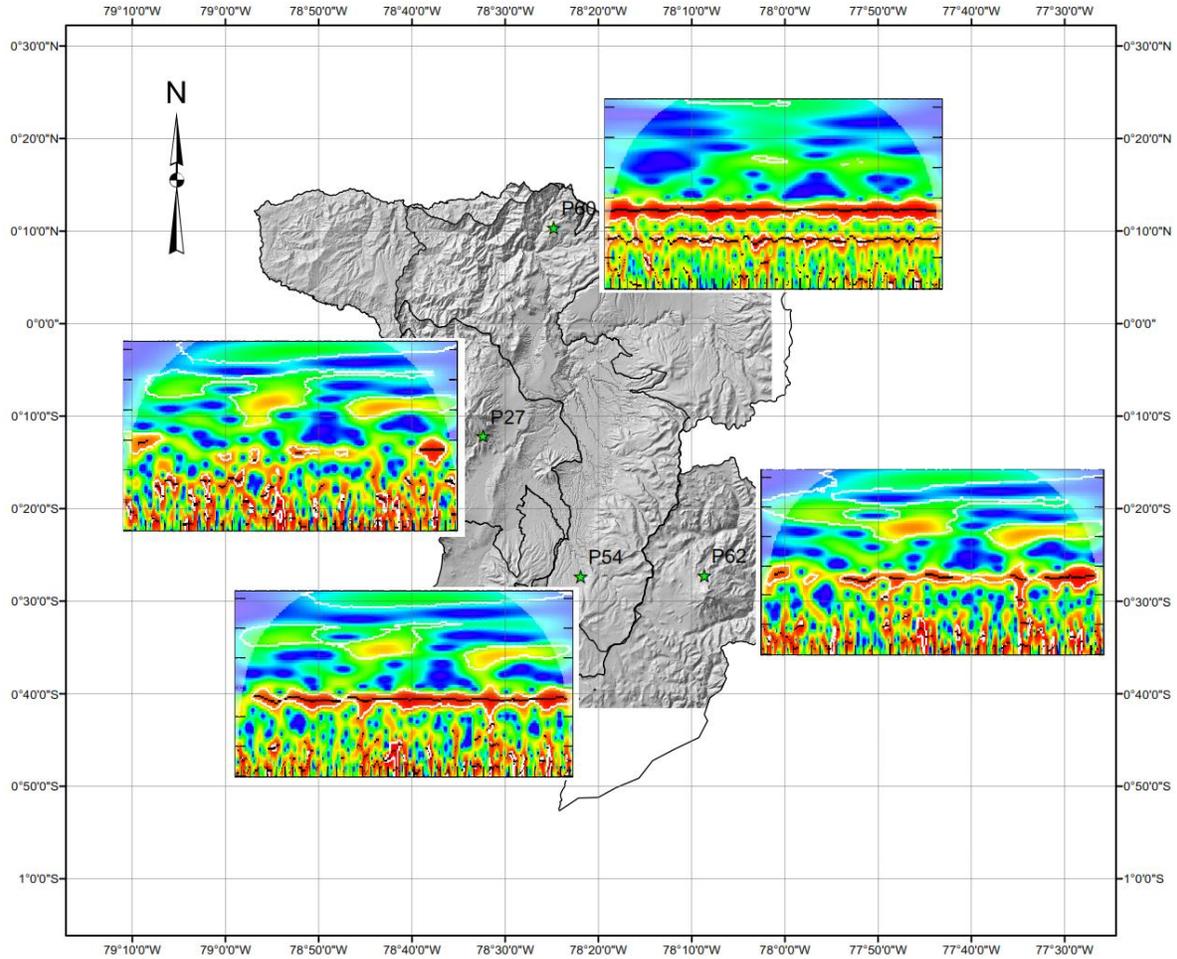


Figura 9 estaciones con ciclicidad similar

En la Figura 10 se observa como la ciclicidad de las estaciones también varían según su ubicación, encontrando dos zonas: una que se encuentra en la parte netamente interandina y otra que se encuentra en los flancos de esta; en la zona central se distingue una ciclicidad clara de manera anual y semestral, es decir existen eventos meteorológicos con una clara temporalidad anual lo que coincide con las precipitaciones marcadas de los meses febrero - abril que se dan todos los años y otra ciclicidad relativamente marcada cada seis meses que correspondería a nuestros eventos en los meses septiembre - diciembre. En la zona de los flancos observamos que la señal es más dispersa y cuenta con ciertas interrupciones, los tiempos de retorno son menores, es decir se observan eventos desde tres meses, acompañados de eventos semestrales y anuales, sin una tendencia clara. Dentro de este análisis se observó que en toda el área estudiada se presentan eventos cíclicos dentro de un periodo entre 48 y 64 meses con una duración aproximada de cinco años y una separación entre eventos de 8 años, es importante mencionar que sería de gran ayuda contar con una base de datos más extensa para verificar esta temporalidad.

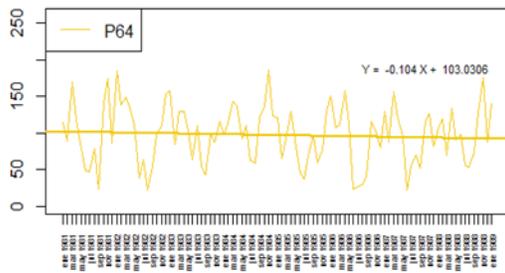


**Figura 10** Mapa de ondeletas comparativo entre estaciones orientales y occidentales

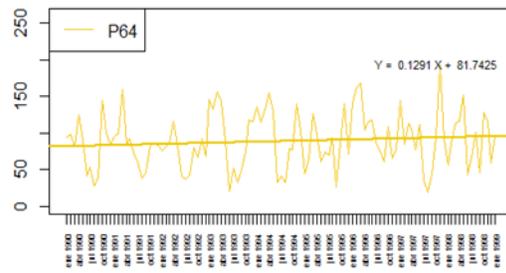
*Análisis de tendencias y medias*

En la Figura 11 se define el gráfico de tendencias por décadas, donde el eje de las ordenadas está dado por mes-año y el eje de las abscisas por mm/precipitación, cuyo análisis nos permite definir que para la década de 1981-1989 se observa un leve decremento en los valores de precipitación. Este comportamiento cambia de manera general en la siguiente década donde existe un ligero incremento de las precipitaciones mensuales, comportamiento que se mantiene en la siguiente década (2000-2009). No obstante en la década 2010-2020 se observa una tenue disminución de este fenómeno, lo que coincide con el análisis de las medias de dichos periodos (anexo1)

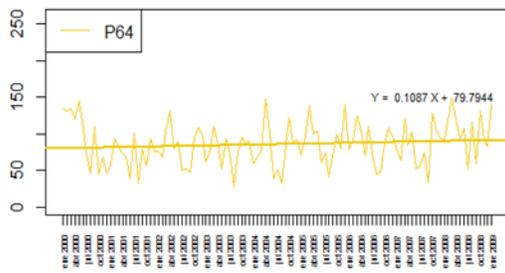
Precipitaciones mensuales en P64 Periodo: 1981 - 1989



Precipitaciones mensuales en P64 Periodo: 1990 - 1999



Precipitaciones mensuales en P64 Periodo: 2000 - 2009



Precipitaciones mensuales en P64 Periodo: 2010 - 2020

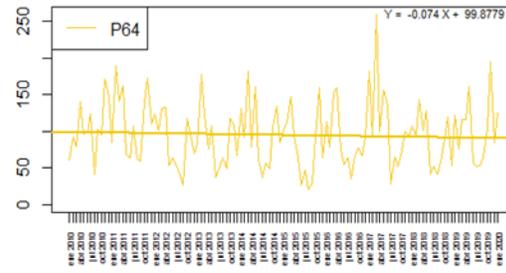


Figura 11 Comparación de tendencias en la estación P64 (Laguna Encantada)

El estudio de la precipitación espacio – temporal a largo y corto plazo es causa relevante de investigación en todo el mundo, el entender el comportamiento de los eventos meteorológicos ha generado el desarrollo de varias técnicas de interpretación; dentro de los estudios referentes a la precipitación en el Ecuador, está el realizado por Vicenti (2012) que resalta la bimodalidad temporal de la precipitación en el DMQ, mostrando periodos lluviosos entre enero-mayo, con periodos de sequía o menor cantidad de lluvia en los meses de junio-septiembre, utilizando para su análisis el coeficiente pluviométrico, lo cual coincide con los resultados obtenidos en este trabajo, con la diferencia de que se estableció no solo un periodo de precipitación sino dos (enero-junio/ septiembre-diciembre), además la presencia de dos zonas con temporalidad espacial diferente dentro del DMQ y regímenes horarios donde se presenta mayor precipitación, mediante el uso de mapas de calor como los aplicados en el estudio de Beck (2015).

Para establecer la ciclicidad y la presencia de eventos extremos de precipitación en el DMQ, se desarrolla un análisis de ondeletas, aplicando la metodología de estudio realizado por Baidu (2017) en Gahana, las conclusiones de este análisis permitió obtener

periodos de retorno que van desde los 3 meses hasta los 64 meses, siendo estos últimos catalogados como eventos extremos; es importante mencionar que para el Ecuador y específicamente el DMQ no existen este tipo de estudios.

### *Conclusiones*

Se determina dos tendencias horarias dentro del DMQ, la primera consta de aquellas estaciones que se encuentran en la zona interandina donde los Andes influyen en el comportamiento del aire proveniente de la costa, de la región amazónica y de la oscilación de la Zona de Convergencia Intertropical al comportarse como una barrera natural, esta tendencia está marcada por una distribución temporal de precipitaciones máximas en los meses de febrero a abril; mientras que en la zona oriental se observa que la precipitación se presenta a lo largo de todo el año con una disminución en los meses de octubre y noviembre.

Basados en el análisis de ondeletas se puede concluir que las estaciones que se encuentran hacia el occidente constan de una clara ciclicidad con eventos suscitados cada 12 meses y con un cierto porcentaje menor en aquellos eventos que se presentan cada 6 meses, mientras que las estaciones que se encuentran hacia la parte oriental cuentan con dos periodos de eventos cíclicos a los 12 meses con interrupciones en los años 1984 -1991 /2002-2007. Una característica que presentan todas las estaciones es en el periodo de tiempo de 48 meses donde se observa eventos cíclicos extremos que tienen una duración desde 1994 hasta 2000 y desde el 2008 hasta 2016 aproximadamente.

Al analizar los datos del mapa de isoyetas se define que las estaciones que se encuentran en los bordes extremos de los Andes tienen valores mayores de precipitación y analizamos el comportamiento cíclico de estas mismas estaciones, podemos darnos cuenta que estas zonas son más propensas a eventos extremos.

En el análisis tendencial al hacer una comparación entre las diferentes décadas se establece que entre la década de 1981-1989 y la década 2010-2020 existe un decrecimiento entre estas, lo que representa una disminución del 1% en la media de la precipitación, mientras que en las décadas de 1990 – 1999 y 2000-2009 no se observa una relación al comportamiento entre en estas mediciones; por lo que se podría mencionar que el cambio

climático afecta al Ecuador, donde se ha producido una disminución de los niveles de precipitación, y que podría ser corroborado con periodos de análisis mayores.

### *Bibliografía*

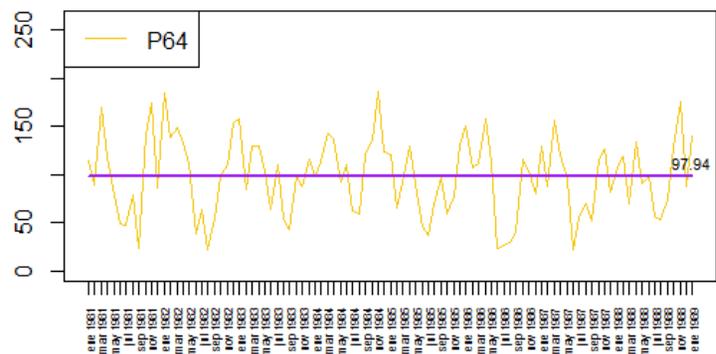
- Demaria, E., Goodrich, D., & Keefer, T. (mayo de 2017). *ResearchGate*. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/316840607\\_Frequency\\_Analysis\\_of\\_Extreme\\_Sub-Daily\\_Precipitation\\_under\\_Stationary\\_and\\_Non-Stationary\\_Conditions\\_across\\_Two\\_Contrasting\\_Hydroclimatic\\_Environments](https://www.researchgate.net/publication/316840607_Frequency_Analysis_of_Extreme_Sub-Daily_Precipitation_under_Stationary_and_Non-Stationary_Conditions_across_Two_Contrasting_Hydroclimatic_Environments)
- Baidu, M., Amekudzi, L., Aryee, J., & Annor, T. (2017). Assessment of long-term spatio-temporal rainfall variability over Ghana using wavelet analysis. *Climate*, 5(2), 30.
- Beck, F., Bárdossy, A., Seidel, J., Müller, T., Sanchis, E., & Hauser, A. (2015). Statistical analysis of sub-daily precipitation extremes in Singapore. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 3, 337-358.
- Cerano-Paredes, J., Villanueva-Díaz, J., Valdez-Cepeda, R., Arreola-Ávila, J., & Constante-García, V. (2011). El Niño Oscilación del Sur y sus efectos en la precipitación en la parte alta de la cuenca del río Nazas. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 17, 207-2015.
- Funk, C., Peterson, P., Landsfeld, M., Pedreros, D., Verdin, J., Shukla, S., & Michaelsen, J. (2015). The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes. 2(1), 1-21.
- Govaere, J. (1974). Govaere, J. L. (1974). MAPA DE ISOYETAS DE LA TORMENTA DEL 28-29 DE AGOSTO DE 1973. CUENCA DEL RIO GRANDE DE TERRABA. *Revista Geográfica de América Central*, 1(1), 21-24.
- Iglesias, A., Estrela, T., & Gallart, F. (2005). *DIGITAL.CSIC*. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10261/79951>
- Masís Campos, R., & Vargas Picado, H. (junio de 2014). *Scielo*. Obtenido de <https://www.scielo.sa.cr/pdf/reflexiones/v93n1/a03v93n1.pdf>
- Merino, C., Ramírez, A., & Peña, V. (noviembre de 2020). *redalyc.org*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/573/57311093001.pdf>
- Municipio Quito. (2015). *Atlas De Amenazas Naturales Y Exposición De Infraestructura Del Distrito Metropolitano De Quito*. Quito: Advantlogic Ecuador S.A. Obtenido de <https://www.quito.gob.ec/index.php/municipio/218-atlas-amenazas-naturales-dmq>

- Naciones Unidas. (noviembre de 2020). Obtenido de <https://www.un.org/es/sections/issues-depth/climate-change/index.html>
- Rau, P., Bourrel, L., Labat, D., Melo, P., Dewitte, B., Frappart, F., & Felipe, O. (2017). Regionalization of rainfall over the Peruvian Pacific slope and coast. *International Journal of Climatology*, 37(1), 143-158.
- Rojas Morales, N. (2018). Artículo I. Validación de la base de datos de precipitación CHIRPS v. 2 para Costa Rica a escala mensual en el período 1981-2013. *CATIE, Turrialba (Costa Rica)*.
- Rojas Morales, N. (2018). *Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza* . Obtenido de <http://hdl.handle.net/11554/8725>
- Rosales Gonzales, M. (2013). Análisis básico sobre la posible variación de la precipitación y de la temperatura bajo la influencia del cambio climático en la Ciudad de Quito. Quito, Ecuador.
- Saavedra-Gstélum, V., Fernández-Harmony, T., Harmony-Baillet, T., & Castaño-Meneses, V. (2006). Ondeletas en ingeniería: Principios y aplicaciones. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 7(3), 185-190.
- Sistema Nacional de Información*. (2015). Obtenido de [http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL\\_SNI/data\\_sigad\\_plus/sigadplusdocumentofinal/1760003330001\\_PD%20y%20OT%20GADPP%20final%20150815\\_17-08-2015\\_18-28-14.pdf](http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/1760003330001_PD%20y%20OT%20GADPP%20final%20150815_17-08-2015_18-28-14.pdf)
- Villacis Rivadeneira, E., & Marreno de León, N. (2017). Precipitaciones extremas en la ciudad de Quito, provincia de Pichincha-Ecuador. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 38(2), 102-113.
- Vincenti, S., Zuleta, D., Moscoso, V., Jácome, P., Palacios, E., & Villacís, M. (2012). Vincenti, S. S., Zuleta, D., Moscoso, V., Jácome, P., Palacios, E., & Villacís, M. (2012). Análisis estadístico de datos meteorológicos mensuales y diarios para la determinación de variabilidad climática y cambio climático en el Distrito Metropolitano de . *La Granja*, 16(2), 23-47.

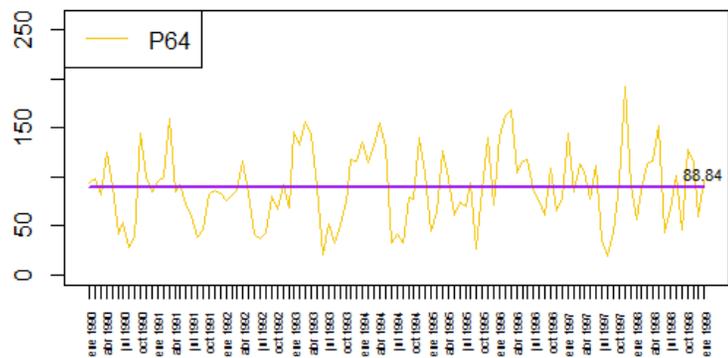


## Anexo 1 Valores de las medias por décadas

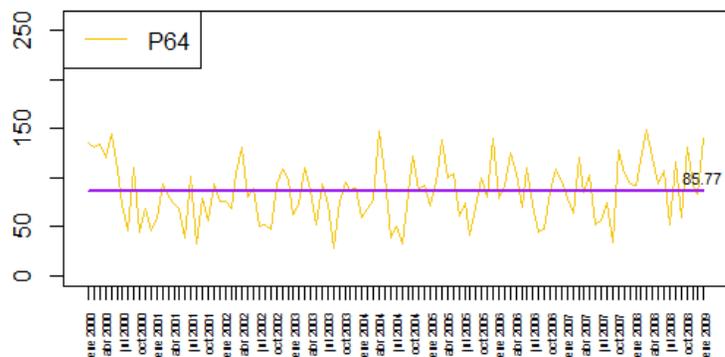
### Precipitaciones mensuales en P64 Periodo: 1981 - 1989



### Precipitaciones mensuales en P64 Periodo: 1990 - 1999



### Precipitaciones mensuales en P64 Periodo: 2000 - 2009



### Precipitaciones mensuales en P64 Periodo: 2010 - 2020

