

REPÚBLICA DEL ECUADOR



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

**TRABAJO DE TITULACIÓN PARA OBTENER LA MAESTRÍA EN PREVENCIÓN
Y GESTIÓN DE RIESGOS**

TÍTULO DEL TRABAJO

**Regionalización de la precipitación a nivel mensual, periodo 2000 – 2019. El caso de la
Cuenca alta del Guayllabamba**

Autor: Diego Estuardo Palacios Manzano

Tutor: Pablo Edilberto Melo Coy

Quito, marzo 2022



INSTITUTO DE ALTOS ESTUDIOS NACIONALES
LA UNIVERSIDAD DE POSGRADO DEL ESTADO

No.269 - 2022.

ACTA DE GRADO

En el Distrito Metropolitano de Quito, hoy 31 de mayo de 2022, **DIEGO ESTUARDO PALACIOS MANZANO**, portador del número de cédula: 0104411673, **EGRESADO DE LA MAESTRÍA EN PREVENCIÓN Y GESTIÓN DE RIESGOS (2019-2021)**, se presentó a la defensa del Artículo Científico, con el tema: "**REGIONALIZACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN A NIVEL MENSUAL, PERIODO 2000-2019. EL CASO DE LA CUENCA ALTA DEL GUAYLLABAMBA**", 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:	9.04
Artículo Científico:	8.75
Defensa Oral Artículo Científico:	9.50
Nota Final Promedio:	9.08

En consecuencia, **DIEGO ESTUARDO PALACIOS MANZANO**, se ha hecho acreedor al título mencionado.

Para constancia firman:



Mgs. Gualdemar Jimenez
PRESIDENTE



Dra. Caterina Tuci
MIEMBRO



Dr. Fernando Barragan
MIEMBRO



Abg. Juan Maldonado.
DIRECTOR DE SECRETARÍA GENERAL



AUTORÍA

Yo, Diego Estuardo Palacios Manzano, máster en Prevención y Gestión de Riesgos, con CC 010441167 3, 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 del autor del trabajo de titulación. Asimismo, me acojo a los reglamentos internos de la universidad correspondientes a los temas de honestidad académica.



Firma

CC 010441167 3



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 Regionalización de la precipitación a nivel mensual, periodo 2000 – 2019. El caso de la Cuenca alta del Guayllabamba, 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, marzo 2022.



DIEGO ESTUARDO PALACIOS MANZANO
CC: 010441167 3

Dedicatoria

Dedico este trabajo primeramente a Dios por permitirme llegar a este momento importante en mi formación profesional. De manera muy especial a mi esposa Daniela e hija Amalia que son mi razón de ser y apoyo incondicional. A mis padres Estuardo y Diana. A mis hermanas Diana y Camila. Y a todos mis amigos y familiares que aportaron para poder llegar a esta meta.

Diego Estuardo Palacios Manzano.

Quito, marzo 2022

Agradecimiento

Agradezco de manera especial al Mgst. Pablo Melo por su dirección y guía, ya que con su conocimiento y experiencia supo motivarme para la realización de este trabajo de titulación. Al Instituto de Altos Estudios Nacionales y al proyecto “Investigación Statistical Analysis of Daily Rainfall in DMQ Spatial and temporal Patterns”.

Resumen

Entender el comportamiento de la precipitación tanto espacial como temporalmente es importante para garantizar la seguridad hídrica y gestionar los riesgos derivados de esta de una manera adecuada, sabiendo que la precipitación no es homogénea en todas las zonas en la que se presenta, es por esta razón que en este estudio se realiza una regionalización de la Cuenca alta del río Guayllabamba y parte de la Cuenca alta del Río Napo, siendo esta nuestra área de estudio, encontrándose en la región de los Andes al norte de Ecuador. Para esta investigación se trabajó con dos bases de datos: la primera de una red de monitoreo hidrometeorológica y la segunda de datos satelitales de precipitación. Se realizó la regionalización a través de correlaciones simples y de la técnica de agrupamiento de k-means para analizar la variabilidad espacial, además que se realizaron series de tiempo con los datos satelitales para analizar la variabilidad temporal. Se obtuvieron tres regiones que presentan comportamientos distintos una de la otra debido a su disposición espacial, unas presentan periodos marcados de lluvia y sequía, mientras que otra es homogénea a lo largo del año, requiriendo un tratamiento independiente para cada región. Temporalmente existe variabilidad misma que es influenciada por fenómenos atmosféricos como el Niño y la Niña.

Palabras clave

Precipitación, Andes, regionalización, variabilidad, correlación

Abstract

Understanding the behavior of precipitation in both areas spatially and temporally is important to guarantee water security and manage the risks derived from it in an appropriate manner, knowing that precipitation is not homogeneous in all the areas in which it occurs, it is for this reason that in this study a regionalization of the upper basin of the Guayllabamba River and part of the upper basin of the Napo River is carried out, this being our study area, located in the Andes region in northern Ecuador. For this research, we worked with two databases: the first one from a hydrometeorological monitoring network and the second one from satellite precipitation data. Regionalization was performed through simple correlations and the k-means technique to analyze spatial conservation, in addition to performing time series with satellite data to analyze temporal conservation. There are three regions that present different behaviors one from the other due to their spatial arrangement, some present marked periods of rain and drought, while others are homogeneous throughout the year, requiring an independent treatment for each region. Temporarily there is the same fact that is influenced by atmospheric phenomena such as El Niño and La Niña.

Keywords

Precipitation, Andes, regionalization, variability, correlation.

Índice

Resumen.....	6
Abstract.....	7
Introducción.....	9
Área de Estudio.....	10
Datos.....	11
Datos de precipitación.....	11
Datos satelitales de precipitación.....	11
Métodos.....	11
Análisis de la información.....	11
Análisis y validación.....	11
Regionalización.....	11
Correlaciones.....	11
K-means.....	12
Series de tiempo.....	12
Resultados y Discusión.....	13
Conclusiones.....	24
Bibliografía.....	26

Introducción

A nivel mundial el agua dulce es utilizada en varios usos tanto para la sociedad humana como los ecosistemas naturales, por lo que el monitoreo y análisis a diferentes escalas tanto espaciales como temporales juega un papel importante para la toma de medidas de adaptación a eventos hidrometeorológico extremos y al cambio climático (Shi, Li, Wei, Fu, & Wang, 2016; Urdiales & Célleri, 2018).

La precipitación es una variable importante para estudios climáticos, cuya variabilidad espacial y temporal pueden impactar en las actividades humanas durante eventos meteorológicos extremos como sequías e inundaciones (Parracho & Rocha, 2015). Además, desempeña un papel crucial en la planificación y gestión de los recursos hídricos, vinculada directamente con la mitigación de desastres (Prakash, Mitra, Aghakouchak, & Pai, 2015). Se prevé que las precipitaciones a nivel mundial aumenten en un promedio de 1-2% por grado Celsius ya que una atmósfera más cálida retiene más vapor de agua. Pero los cambios locales pueden ser muy variables, con algunas regiones cada vez más secas y otras mucho más húmedas (Guo & Deser, 2015).

Los Andes son el mayor abastecedor de agua de la región, y el principal factor de generación de agua es la precipitación (Buytaert, Celleri, Willems, Bie, & Wyseure, 2006), por todo esto es importante regionalizar la zona de estudio ya que existen estudios similares en zonas costeras como el de Ilbay-yupa, Zubieta, & Lavado, (2019) y Rau et al., (2017) mas no en los Andes, buscando zonas homogéneas, para entender mejor los diferentes comportamientos de la precipitación en cada zona.

El área de estudio debido a su posición geográfica en los Andes, a la irregularidad territorial por estar atravesada por cordilleras y su orografía, presenta varios climas y microclimas con variedad de la cobertura vegetal, la precipitación media anual varía según la zona (Davila et al., 2018; Distrito Metropolitano de Quito, 2015). Sin olvidar mencionar que los regímenes de lluvia son más diversificados en las regiones andinas (Espinoza, 2009).

Por todas estas características que presentan los andes y en el especial el área de estudio, la importancia de estudiar y entender la precipitación que es variable tanto espacial como temporalmente, el objetivo de la investigación es establecer patrones de precipitación y regionalizar la misma para con esto dar herramientas útiles a los tomadores de decisiones, para prevenir y gestionar los riesgos que traen las precipitaciones extremas o la ausencia de la misma, ya que con esto se podría anticipar a un evento adverso y reducir el riesgo considerablemente.

Área de Estudio

El área de estudio está conformada por una parte de la Cuenca Alta del Río Napo y mayormente por la Cuenca Alta del Río Guayllabamba que forma parte de la Cuenca del Esmeraldas, con una superficie de 4 707 km². Se encuentra ubicada en la región interandina norte del Ecuador, conformado por cinco cantones de la provincia del Pichincha: Cayambe, Distrito Metropolitano de Quito, Mejía, Pedro Moncayo y Rumiñahui (FFLA & FONAG, 2007), como se muestra en la Figura 1. Su orografía presenta varios climas y microclimas con rangos altitudinales que van desde los 490 a 4950 m s.n.m con variedad de la cobertura vegetal, la precipitación media anual varía según la zona (554 mm, 960 mm, 1400 mm), con una temperatura media de 14.5 °C fluctuando entre 9.6 y 21 °C y dos épocas marcadas: la lluviosa y la seca que se caracterizan en función del régimen pluviométrico (Davila et al., 2018; Distrito Metropolitano de Quito, 2015).

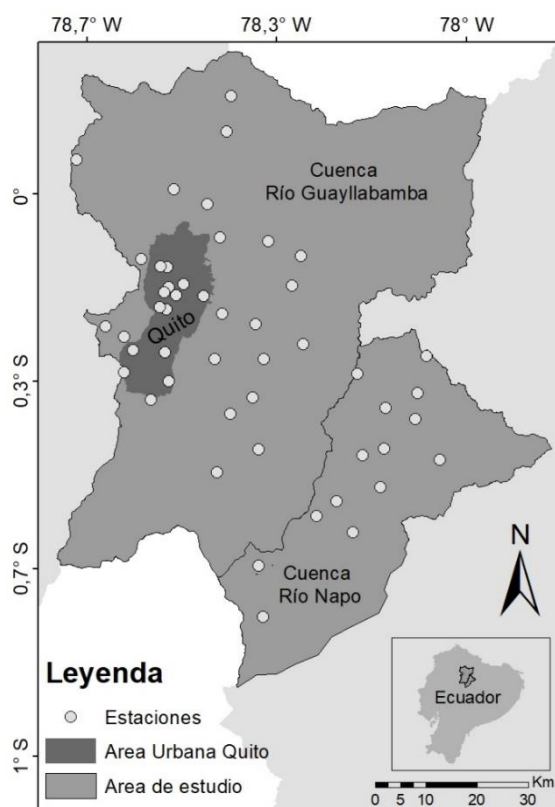


Figura 1 Mapa de la Cuenca de estudio con los puntos de las estaciones meteorológicas y la ubicación dentro de Ecuador.

Datos

Datos de precipitación

La base de datos corresponde a 49 estaciones meteorológicas, de las cuales 40 son pluviométricas y 9 climatológicas, las mismas que pertenecen a la red de la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Saneamiento de Quito (EPMAPS) y el Fondo para la Protección del Agua (FONAG). Estas estaciones tienen registros de precipitación horaria y se encuentran distribuidas a lo largo del área de estudio, 36 dentro de la Cuenca Alta del Río Guayllabamba y se amplió el área con 13 estaciones dentro de la Cuenca Alta del Río Napo. Los datos de precipitación disponibles están durante el periodo 2000 – 2019. La base de datos fue revisada y las estaciones usadas tienen un porcentaje menor al 35 % de datos faltantes en los años de registro de precipitación.

Datos satelitales de precipitación

Los datos se obtuvieron de datos de precipitación global satelital de 39 años en el periodo de tiempo de 1981 – 2019, de acceso al público en la plataforma de Google Earth Engine mediante la herramienta de CHIRPS.

Métodos

Análisis de la información

Los datos fueron analizados mediante el software libre para informática, programación y graficas estadísticas (R Core Team, 2019).

Análisis y validación

Los datos escogidos para el estudio fueron de las estaciones que se encontraban operativas y que nos daban el periodo más largo de análisis posible y registros continuos de datos de toda la red hidrometeorológica de la EPMAPS y FONAG, y mediante análisis estadísticos se corroboró que presentaban una pérdida de datos menor al 35%, porcentaje aceptable para realizar los análisis estadísticos.

Regionalización

Para la regionalización del área de estudio se realizó dos métodos detallados a continuación:

Correlaciones

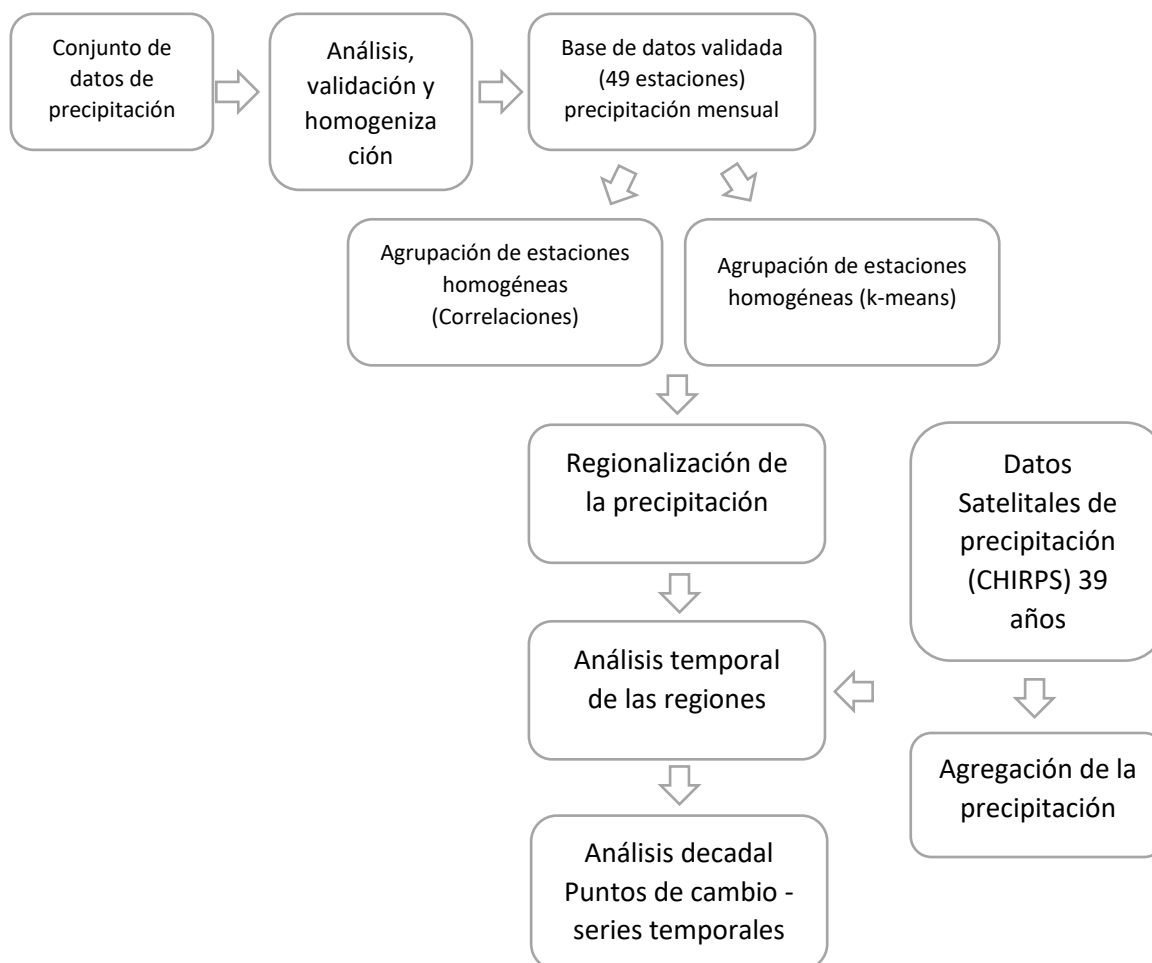
Las correlaciones se realizaron entre todas las estaciones óptimas para el estudio, se realizó una comparación por parejas para obtener el valor del coeficiente de correlación r , las estaciones se agruparon entre las que presentaban un valor de r más alto, en este caso mayor a 0.75.

K-means

Una segunda técnica usada para la regionalización es el agrupamiento de k-means, la cual es una técnica estadística diseñada para asignar objetos a un número fijo de grupos en función de un conjunto de variables específicas, dando como ventaja un rendimiento para identificar conglomerados que permitan jerarquizar los grupos obtenidos en función de su representatividad (Ilbay-Yupa et al., 2019; Rau et al., 2017; Sönmez & Kömüscü, 2011). Los datos dentro de un clúster comparten muchas características pero son muy diferentes a los datos que no pertenecen a ese clúster (Yashwant & Sananse, 2015). La clave en el éxito de esta técnica está en definir adecuadamente el número de grupos, para ello se debe obtener el número de silueta para cada grupo, esto nos sirve para evaluar la significancia estadística de cada grupo identificado (Rousseeuw, 1987).

Series de tiempo

Las series de tiempo se graficaron con el software R Core Team, (2019) y sus paquetes para graficas seriales de tiempo, con los datos de Google Earth Engine mediante la herramienta de CHIRPS. Al igual que se desarrollaron gráficas para determinar puntos de cambio temporales de precipitación y mapas de calor de los 39 años de datos satelitales de las tres regiones establecidas para el estudio.



Esquema 1 Metodología propuesta para el desarrollo de la investigación

Resultados y Discusión

Para la clasificación de la precipitación se utilizaron dos métodos:

El primero se realizó mediante correlaciones simples entre las 49 estaciones del área de estudio, se observa en la distribución de la figura 1 (a) que se clasifican en tres grupos, los grupos se formaron con las estaciones que presentaron un valor de correlación mayor a ($r = 0.75$) entre ellas.

El segundo fue un análisis de conglomerados de datos de precipitación utilizando la técnica de k-means en las 49 estaciones seleccionadas para el estudio. Se aplicó la técnica para grupos de 3, 4 y 5 clústeres, obteniendo también el valor de la silueta promedio 0.23, 0.22, 0.22 respectivamente (figura 1 (b, c, d)). De los tres grupos, el que se seleccionó para el estudio fue el grupo de 4 clústeres, ya que al graficar los puntos en el área de estudio los de este grupo presentaban una disposición espacial geográficamente adecuada, y también sus valores de

silueta tanto positivo como negativo eran los mejores. La distribución que presentan las estaciones meteorológicas en este grupo son: la parte occidental (triángulos amarillos), la parte central (estrellas rojas), la parte oriental (cuadrados verdes y círculos azules).

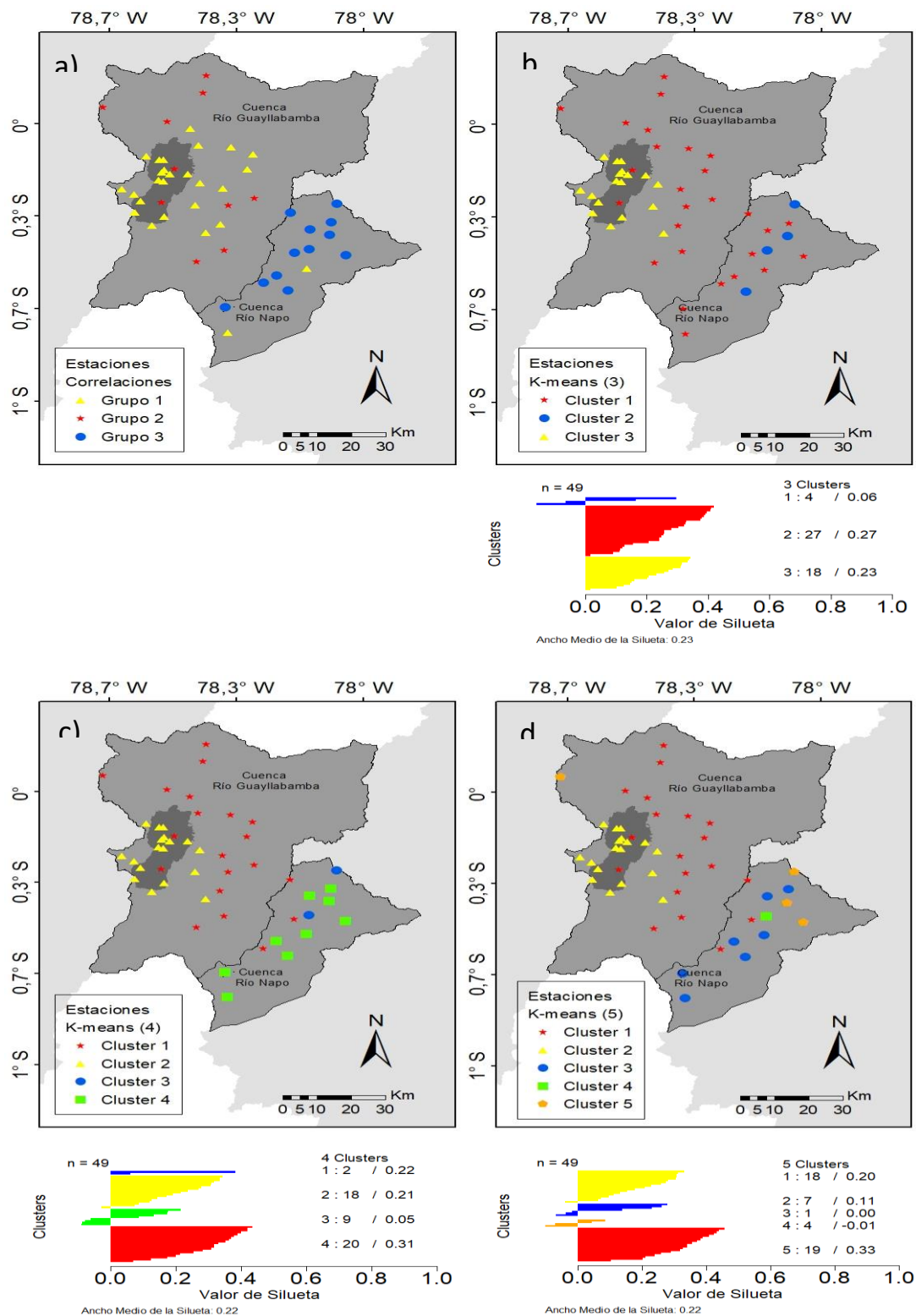


Figura 2 Agrupación de las estaciones: a) Correlación simple, b) k-mean 3 clústeres, c) k-mean 4 clústeres, d) k-mean 5 clústeres

Con la distribución geográfica espacial que se realizó al graficar los puntos y la información que se obtuvo de las correlaciones y análisis de conglomerados, adjuntando información de la precipitación acumulada Figura 3 (b), se determinó tres regiones en el área de estudio Figura 3 (a), la región 1 se encuentra en la parte central, región 2 en la parte occidental en donde se encuentra el casco urbano de la ciudad de Quito y región 3 en la parte oriental en donde abarca parte de la cuenca del río Guayllabamba y parte de la cuenca del río Napo.

En la Figura 3 (b) se puede apreciar la precipitación acumulada medida en unidades de milímetros de lluvia al año de cada región viéndola en orden de precipitación de menor a mayor. La región 1 con un rango de 310 a 866 mm, seguido de la región 2 con 867 1422 mm y la que más precipitación presenta la región 3 con rango de 1423 a 1979 mm con una estación con valores sobre los 2500 mm.

En relación al coeficiente de variación se observa que existe una zona de mayor variabilidad en la parte media de toda el área de estudio formando una línea transversal sobre esta, indicando que existe una fuerte variabilidad de precipitación en esa zona siendo una precipitación más homogénea en el resto del área de estudio.

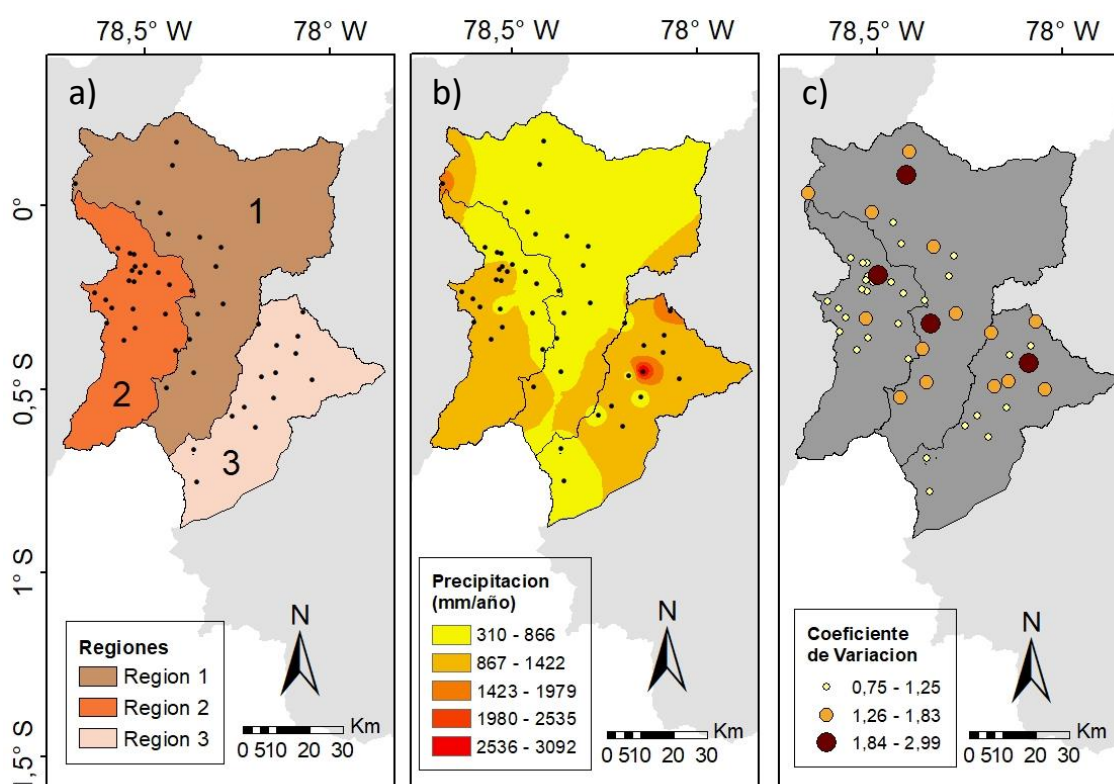


Figura 3 a) Mapa de la Regionalización de la precipitación, b) Mapa de la precipitación acumulada del área de estudio, c) Mapa del coeficiente de variación de las estaciones meteorológicas

En las tres regiones establecidas para el estudio, la región 1 presenta mayor precipitación en los meses de marzo, abril y mayo, siendo los meses de menor precipitación junio, julio y agosto, al igual que la región 2, resultados similares encontrados por Serrano, (2010); Vincenti et al., (2012) que explican que esto se debe a; que los vientos alisios en la Zona de Convergencia Inter Tropical (ZCIT) al ingresar con bajas presiones favorece la formación de nubes por lo que aumenta las precipitaciones en los meses de marzo, abril y mayo mientras que los meses de menor precipitación se debe a que la ZCIT se desplaza al norte y los vientos alisios dejan de circular. La región 3 presenta una precipitación más homogénea a lo largo del año, ya que esta se encuentra en la parte oriental de la cordillera de los Andes, donde existe presencia de precipitación durante todo el año (Campozano, Célleri, Trachte, Bendix, & Samaniego, 2016) sin evidenciarse meses marcados con mayor o menor precipitación (figura 4 (b)) salvo ciertos meses que presentan valores extremos de precipitación que puede deberse a otros factores ambiental como también factores de funcionamiento de la estación meteorológica, de igual manera en esta región se encuentra más al este, entrando en la parte amazónica y es ahí donde se acumula la humedad y al enfriarse esta se precipita generando la lluvia a lo largo del año (Serrano, 2010).

En la Figura 4 (c) encontramos las series temporales de las 3 regiones durante 39 años a partir de 1980 a 2019, pudiendo corroborar lo obtenido con el método de conglomerados, que las regiones 1 y 2 presentan picos de mayor precipitación marcados a lo largo del tiempo mientras que la región 3 es más homogénea, aunque presenta picos marcados de precipitación por el año 1999. La región 2 que se encuentra en la parte oriental y en la que está el casco urbano de la ciudad de Quito, es la que más precipitación muestra en ciertos meses a lo largo de los 39 años de datos obtenidos.

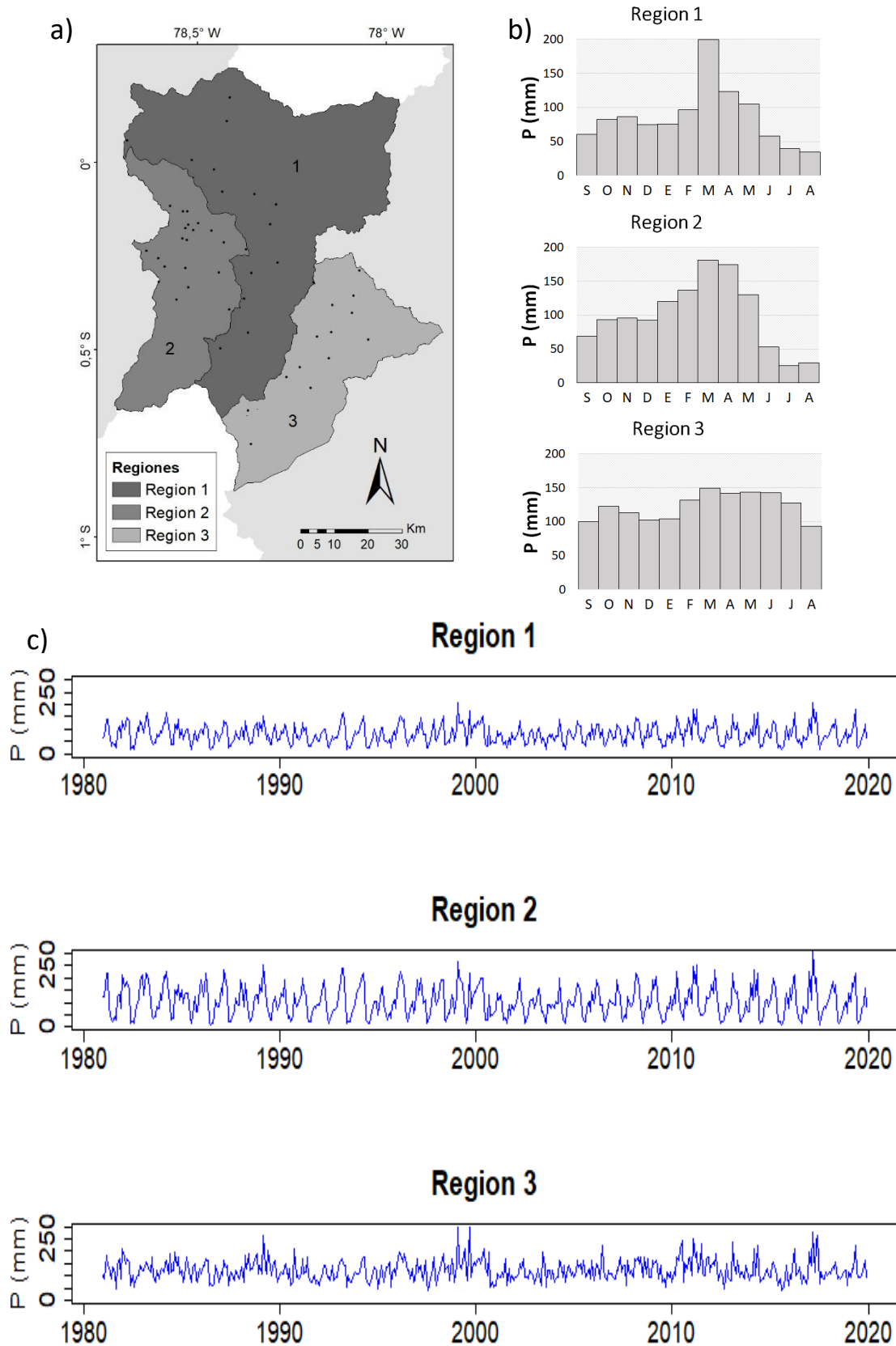


Figura 4 a) Mapa de las 3 regiones de precipitación, b) Precipitación promedio mensual de las 3 regiones, c) series temporales de la precipitación 1980 - 2019 de las 3 regiones

Las series de tiempo obtenidas con los datos satelitales de precipitación de los 39 años se las dividieron en periodos decadales, graficando para cada decada de cada region un diagrama de caja mensual de precipitación (*figuras 5, 6, 7*).

En la region 1 en la decada de 1991 – 2000 y la del 2011 – 2019 muestran picos mas altos de precipitación, lo que no da precipitaciones mas altas y eventos extremos de lluvia en la epoca humeda del año, mientras que la decada del 2001 – 2010 la precipitación se muestra constante en cuanto a altos y bajos, lo que nos indica que no ha existido eventos extremos (*figura 5*). Con la interpretacion de las figuras de cada region de manera decadal, se aprecia facilmente que ha existido un cambio en el comportamiento y presencia de la precipitación a lo largo de los años, misma que puede deberse al cambio climatico que ha sido comprobado por Vincenti et al., (2012) que influencia la precipitación en nuestra area de estudio, evidenciando que en la ultima decada estudiada en la region 1 y 2 los picos son muy marcados.

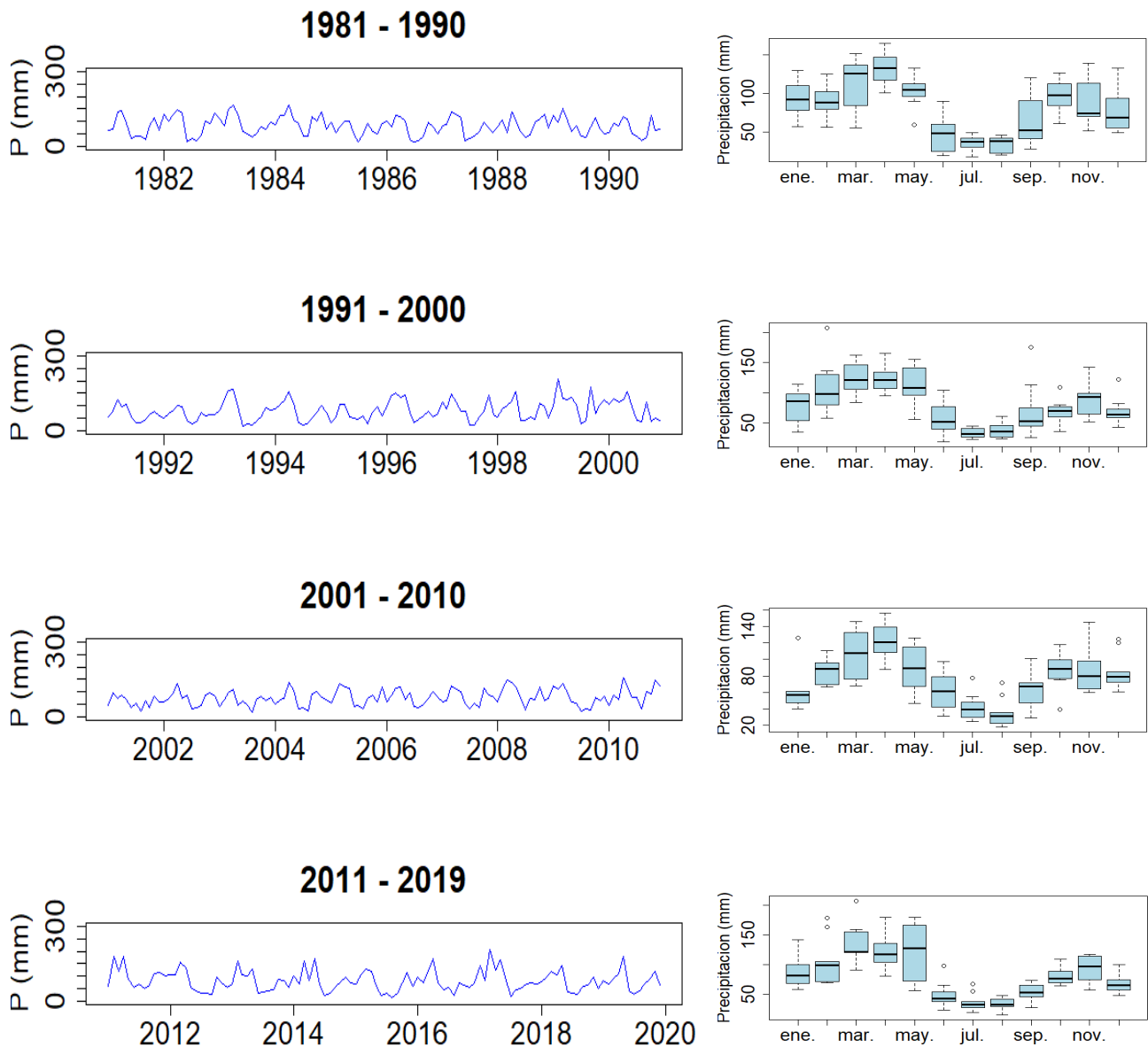


Figura 5 Serie de tiempo decadal y diagrama de caja de precipitación Región 1

La región 2 que se encuentra en la parte más cercana a la costa, tiene la precipitación similar a la región 1 pero es claramente más marcada la época húmeda de la seca, debido a que la influencia de los fenómenos del pacifico como el Niño afectan más a esta zona, como lo dice Rau et al., (2017) en su estudio, que en la parte costera es más marcada la influencia de este fenómeno sobre la precipitación.

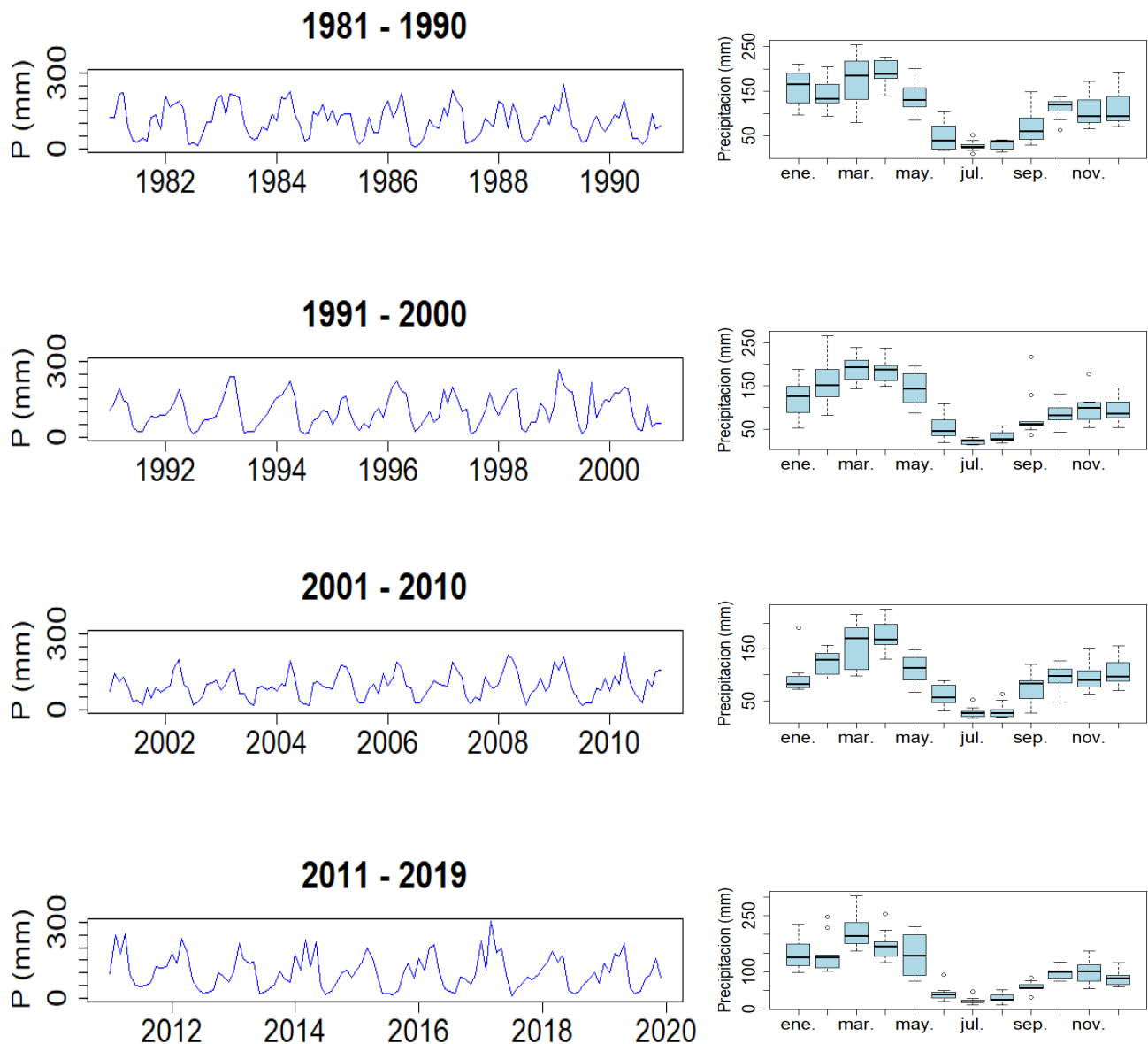


Figura 6 Serie de tiempo decadal y diagrama de caja de precipitación Región 2

De igual manera podemos observar en la *figura 7* las series de tiempo decadales de la región 3, encontrando que, al igual que la región 1 y 2 la década del 2011 – 2019 es la que presenta mayor cambio y picos más marcados, existiendo un cambio temporal claro en la precipitación.

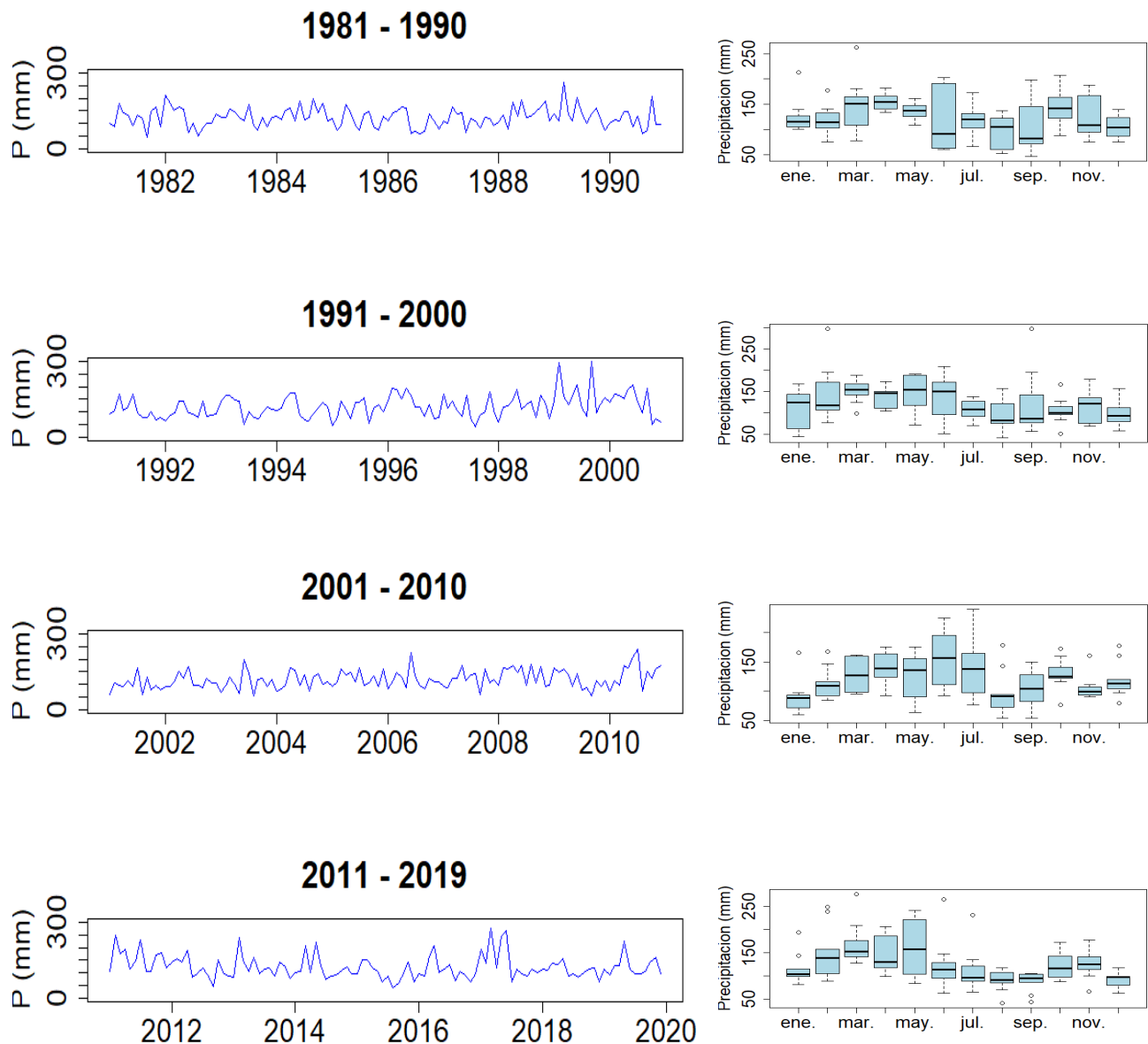


Figura 7 Serie de tiempo decadal y diagrama de caja de precipitación Región 3

En la *figura 8* se muestran los puntos de cambio en la temporalidad de las tres regiones, en las tres regiones existen puntos de cambio, en cada región se dan en diferente temporalidad, lo que significa que a lo largo del tiempo la precipitación ha sufrido cambio ya sea que esta ha aumentado o disminuido significativamente durante ciertos periodos de tiempo, existiendo eventos extremos. Estos cambios pueden ser producidos por el cambio climático ya que produce un incremento en la temperatura generando patrones irregulares de precipitación, incrementando los eventos extremos (Vincenti et al., 2012). Los cambios en la temporalidad son mucho más fuertes en la región tres que en las regiones uno y dos, ya que esta se encuentra

influenciada también por las condiciones y características de la parte amazónica, que tiene condiciones diferentes a la parte andina.

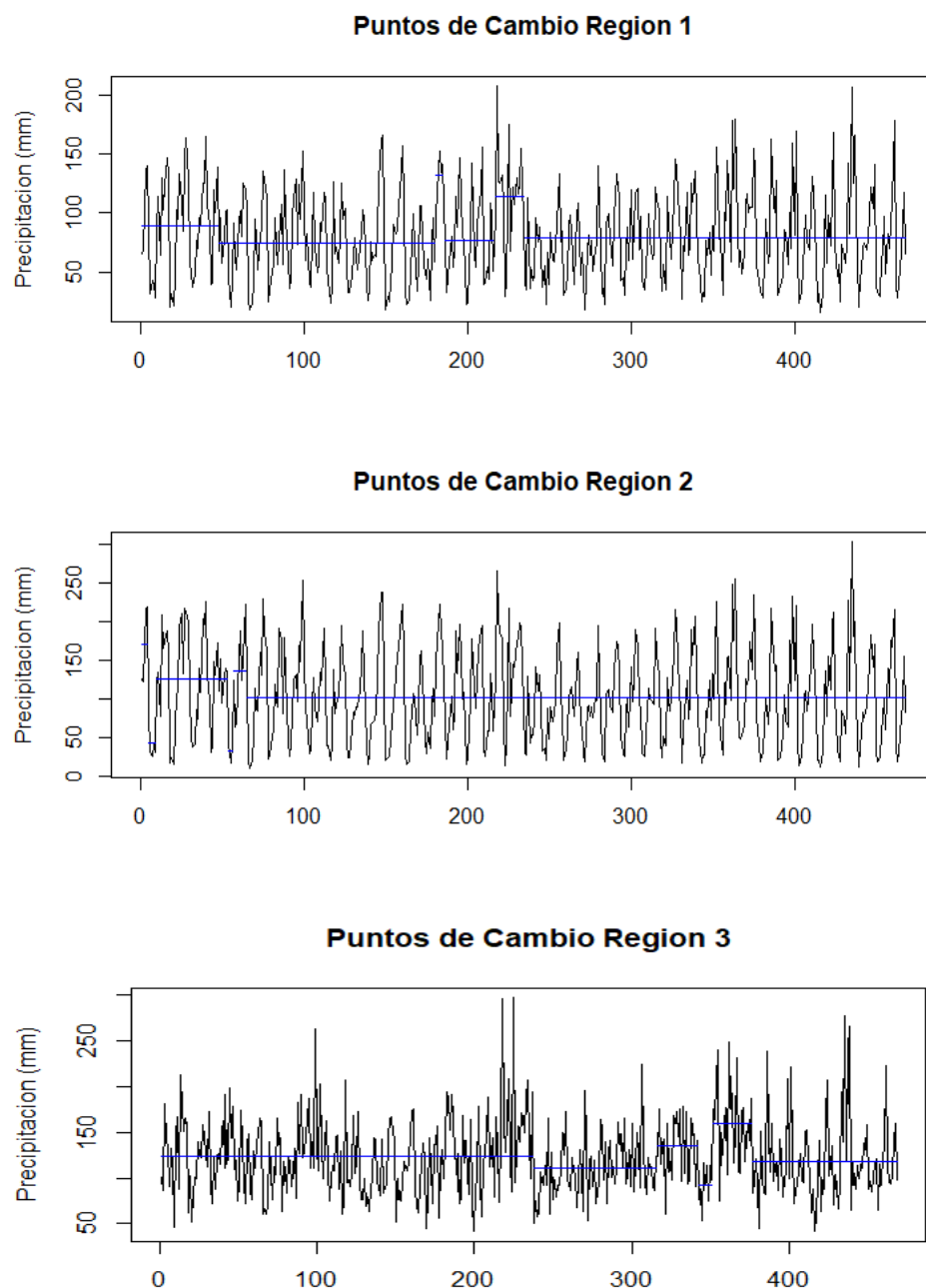


Figura 8 Puntos de cambio de las regiones

Los mapas de calor (figura 9) muestran la precipitación de los 39 años de datos satelitales obtenidos para las 3 regiones, siendo el color rojo los meses más secos con menos precipitación, hasta llegar a un color azul que son los meses con mayor precipitación, la región 1 y 2 tienen la época seca marcada en los meses de junio a septiembre, siendo la región 2 más marcada la ausencia o poca precipitación, y los meses de febrero a mayo la época con mayor

precipitación, mismos que Padrón, Wilcox, Crespo, & Celleri, (2015) estableció en su estudio el principal período húmedo lo encontramos de febrero a mayo, mientras la estación más fría y seca se presenta de junio a septiembre. La región 3 en cambio presenta una precipitación durante todo el año sin presentar épocas marcadas de sequía o humedad.

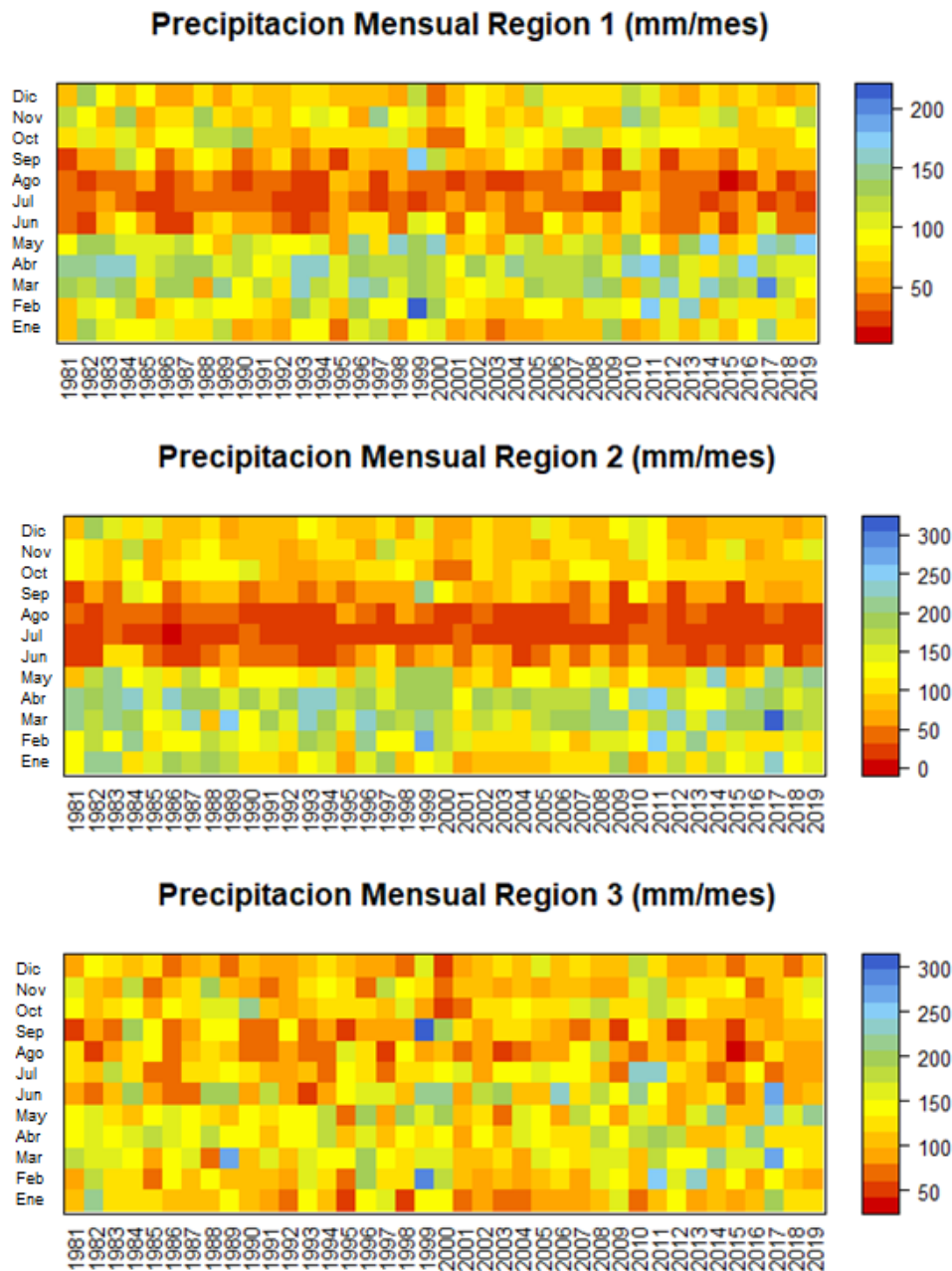


Figura 9 Mapas de calor de la precipitación

Conclusiones

A través de los métodos utilizados en la agrupación de las estaciones se determina que, si existe una regionalización, se identificaron tres regiones en toda el área de estudio, las cuales presentaban características de precipitación distintas una de la otra, mismas que dependen de la ubicación espacial y distribución geográfica que tienen. Las regiones que se encontraban en la parte central (región 1) y occidental (región 2) del área de estudio tienen marcado dos épocas, una húmeda que se aprecia en los meses de febrero a mayo llegando a más de 200 mm de lluvia al mes y una seca que va desde el mes junio al mes de septiembre con lluvia menor a 50 mm al mes en ocasiones, mientras que la región que se encuentra en la parte oriental (región 3) presenta precipitación durante todo el año, sin tener épocas marcadas de más o menos precipitación con un rango de 100 a 150 mm de lluvia al mes. La región 2 es la región que más picos marcados tiene en cuanto a precipitaciones altas y a época seca con ausencia incluso de precipitación.

Cada región establecida va a requerir de un tratamiento distinto e individual, ya que cada una presenta características de precipitación diferentes tanto en cantidad como en ubicación, presentando variabilidad, y también cada región presenta influencia en el comportamiento de la precipitación por la presencia de diferentes fenómenos atmosféricos como el caso del Niño y la Niña, y en casos de eventos extremos.

Existe puntos de cambio en las series de tiempo, lo que nos indica que existe cambio en la precipitación en el área de estudio, hubo años que se incrementó la precipitación a niveles extremos provocando inundaciones y muchas pérdidas, al igual que otros años sequias, esto influenciado por el paso del fenómeno del Niño en esos años, y también por el cambio climático que si está afectando el comportamiento de la precipitación, pudiendo constatar estos cambios temporales con la clasificación decadal de las series de tiempo de los 39 años, encontrando que la última década 2011 – 2019 es la que más alteraciones o cambios presenta en comparación con las otras tres décadas.

La región 3 que se encuentra en la parte oriental del área de estudio, es la que presenta puntos de cambio o quiebre a lo largo del tiempo más fuertes, concluyendo que es una zona más sensible a cualquier alteración o influencia, entre una de ellas las características de la región amazónica del país, y por ende se le debe dar una importancia extra a su estudio ya que es de ahí donde proviene la mayor cantidad de agua para consumo en el Distrito Metropolitano de Quito, siendo vital la conservación de esta región, para garantizar el recurso hídrico hacia el DMQ.

La existencia y disponibilidad de datos y de redes de monitoreo son esenciales para generar conocimiento e información sobre el recurso hídrico y entender cómo afectan los eventos extremos a cada región, en este caso de estudio la precipitación, para que los tomadores de decisiones puedan generar políticas públicas que garanticen la seguridad hídrica, manejo adecuado del agua y una buena gobernanza del riego para prevenir y reducir este. Ya que el desconocimiento del comportamiento de la precipitación o asumir que esta se comporta de la misma manera en todas las regiones es una vulnerabilidad, que provoca que se generen desastres cuyos saldos sean muy desfavorables en varios ámbitos.

Bibliografía

- Buytaert, W., Celleri, R., Willems, P., Bie, B. De, & Wyseure, G. (2006). Spatial and temporal rainfall variability in mountainous areas : A case study from the south Ecuadorian Andes. *Journal of Hydrology*. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2006.02.031>
- Campozano, L., Célleri, R., Trachte, K., Bendix, J., & Samaniego, E. (2016). Rainfall and Cloud Dynamics in the Andes : A Southern Ecuador Case Study. *Hindawi*, 2016, 15.
- Davila, A., Cuesta, R., Villagomez, M., Fierro, D., León, F., Guerrero, K., & Vallejo, J. (2018). *ATLAS Espacios Geográficos Expuestos a Amenazas Naturales y Antrópicas*. Distrito Metropolitano de Quito. (2015). Atlas de amenazas naturales y exposición de infraestructura del Distrito Metropolitano de Quito. *EXCO-Excelencia Corporativa. Quito*, 126. Retrieved from https://ia801301.us.archive.org/31/items/AtlasAmenazasNaturalesDMQ/Atlas_amenazas_naturales_DMQ.pdf
- FFLA, & FONAG. (2007). *HACIA UNA GESTIÓN INTEGRADA EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO GUAYLLABAMBA*. 1–8.
- Guo, R., & Deser, C. (2015). Human influence on winter precipitation trends (1921-2015) over North America and Eurasia revealed by dynamical adjustment. *American Geophysical Union*, (November 2018), 0–3. <https://doi.org/10.1029/2018GL081316>
- Ilbay-Yupa, M., Zubieta, R., & Lavado, W. (2019). REGIONALIZACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN, SU AGRESIVIDAD Y CONCENTRACIÓN EN LA CUENCA DEL RÍO GUAYAS, ECUADOR. *La Granja: Revista de Ciencias de La Vida*, 30(2), 57–76.
- Padrón, R. S., Wilcox, B. P., Crespo, P., & Celleri, R. (2015). Rainfall in the Andean Páramo : New Insights from High-Resolution Monitoring in Southern Ecuador. *American Meteorological Society*, 985–996. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-14-0135.1>
- Parracho, A. C., & Rocha, A. (2015). Regionalization of precipitation for the Iberian Peninsula and climate change. *JOURNAL OF PHYSICS AND CHEMISTRY OF THE EAR*. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2015.07.004>
- Prakash, S., Mitra, A. K., Aghakouchak, A., & Pai, D. S. (2015). Error characterization of TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA- National Centre for Medium

- Range Weather Forecasting , Centre for Hydrometeorology and Remote Sensing , India Meteorological Department , Pune , India. *JOURNAL OF HYDROLOGY*.
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.08.062>
- R Core Team. (2019). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Retrieved from <https://www.r-project.org/>
- 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. <https://doi.org/10.1002/joc.4693>
- Rousseeuw, P. J. (1987). Silhouettes: A graphical aid to the interpretation and validation of cluster analysis. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 20(C), 53–65. [https://doi.org/10.1016/0377-0427\(87\)90125-7](https://doi.org/10.1016/0377-0427(87)90125-7)
- Serrano, J. J. (2010). *REGIONALIZACIÓN ESPACIAL DE SERIES CLIMÁTICAS MENSUALES CASO DE ESTUDIO: CUENCA DEL RÍO GUAYLLABAMBA*.
- Shi, H., Li, T., Wei, J., Fu, W., & Wang, G. (2016). Journal of Hydrology : Regional Studies Spatial and temporal characteristics of precipitation over the Three-River Headwaters region during 1961 – 2014. *Biochemical Pharmacology*, 6, 52–65. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2016.03.001>
- Sönmez, İ., & Kömüscü, A. Ü. (2011). Reclassification of rainfall regions of Turkey by K-means methodology and their temporal variability in relation to North Atlantic Oscillation (NAO). *Springer*, 106, 499–510. <https://doi.org/10.1007/s00704-011-0449-1>
- Urdiales, D., & Céleri, R. (2018). Pronóstico de la ocurrencia de precipitación diaria en un gradiente altitudinal en el Sur del Ecuador , mediante un generador climático. *Enfoque UTE*, 9, 29–41.
- 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 QUITO. *La Granja: Revista de Ciencias de La Vida*, 16(2), 23–47.
- Yashwant, S., & Sananse, S. L. (2015). Comparisons of Different Methods of Cluster Analysis with Application to Rainfall Data. *International Journal of Innovative*

Research in Science, Engineering and Technology, (1981), 10861–10872.

<https://doi.org/10.15680/IJIRSET.2015.0411087>