UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA PRECIPITACIÓN Y SU RELACIÓN CON LA TEMPERATURA EN LA CIUDAD DE QUITO, ENTRE LOS AÑOS 2009-2019

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

Trabajo de titulación presentado como requisito para la obtención del título de

INGENIERO AMBIENTAL

AUTOR

VILLAMAR ROBALINO ROBERTO JESÚS

TUTORA

Oce. LEILA ZAMBRANO ZAVALA M.Sc.

GUAYAQUIL – ECUADOR

2021

UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

APROBACIÓN DEL TUTOR

Yo, **ZAMBRANO ZAVALA LEILA, M.Sc,** docente de la Universidad Agraria del Ecuador, en mi calidad de Tutor, certifico que el presente trabajo de titulación: **"ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA PRECIPITACIÓN Y SU RELACIÓN CON LA TEMPERATURA EN LA CIUDAD DE QUITO, ENTRE LOS AÑOS 2009-2019"**, realizado por el estudiante **VILLAMAR ROBALINO ROBERTO JESÚS**; con cédula de identidad **N°0923495550** de la carrera INGENIERÍA AMBIENTAL, Unidad Académica Guayaquil, ha sido orientado y revisado durante su ejecución; y cumple con los requisitos técnicos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador; por lo tanto se aprueba la presentación del mismo.

Atentamente,

_____

Oce. Leila Zambrano Zavala, M.Sc

Guayaquil, , 01 de septiembre del 2021

UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Los abajo firmantes, docentes designados por el H. Consejo Directivo como miembros del Tribunal de Sustentación, aprobamos la defensa del trabajo de titulación**: "ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA PRECIPITACIÓN Y SU RELACIÓN CON LA TEMPERATURA EN LA CIUDAD DE QUITO, ENTRE LOS AÑOS 2009-2019",** realizado por el estudiante **VILLAMAR ROBALINO ROBERTO JESÚS**, el mismo que cumple con los requisitos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador.

Atentamente,

Ing. Arcos Jácome Diego
PRESIDENTE

Blg. Arízaga Gamboa Raúl, M.Sc
EXAMINADOR PRINCIPAL

Ing. Muñoz Naranjo Diego
EXAMINADOR PRINCIPAL

Oce. Zambrano Zavala Leila, M.Sc.
EXAMINADOR SUPLENTE

Guayaquil, 29 de julio del 2021

Dedicatoria

Esta tesis está dedicada a mi familia y amigos por siempre estar presente en cada paso que doy y preocuparse por mí, en especial a mis padres que me impulsan cada día a seguir con mis proyectos.

Agradecimiento

Agradezco a Dios por la vida y fortaleza que me dio para seguir en la carrera, a mis padres Roberto y Katiusca por su esfuerzo constante para que yo continúe con mis estudios y su apoyo incondicional, a mis abuelos por ayudarme en todo lo que yo he necesitado para poder graduarme.

A mi tutora que fue mi guía desde el comienzo y el final del camino la Oce. Leila Zambrano por su paciencia y comprensión.

A mi amigo Leonidas por su compañerismo en todo el ciclo estudiantil, a mis amigas Erika y María por los momentos gratos que pasamos en la universidad, en general a todas las personas que me animaron a seguir con mis estudios y mi proyecto de tesis, mi más grato agradecimiento. Los quiero a todos.

Autorización de Autoría Intelectual

Yo, VILLAMAR ROBALINO ROBERTO JESÚS, en calidad de autor del proyecto realizado, sobre **"ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA PRECIPITACIÓN Y SU RELACIÓN CON LA TEMPERATURA EN LA CIUDAD DE QUITO, ENTRE LOS AÑOS 2009-2019"** para optar el título de **INGENIERA AMBIENTAL**, por la presente autorizo a la **UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR,** hacer uso de todos los contenidos que me pertenecen o parte de los que contienen esta obra, con fines estrictamente académicos o de investigación.

Los derechos que como autora me correspondan, con excepción de la presente autorización, seguirán vigentes a mi favor, de conformidad con lo establecido en los artículos 5, 6, 8; 19 y demás pertinentes de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

Guayaquil, 01 de septiembre del 2021

_____

VILLAMAR ROBALINO ROBERTO JESÚS

C.I. 0923495550

Índice general

Aprobación del tutor 2

Aprobación del tribunal de sustentación 3

Dedicatoria 4

Agradecimiento 5

Autorización de autoría intelectual 6

Índice general 7

Índice de tablas 11

Índice de figuras 12

Resumen 14

Abstract 15

1. Introducción 16

1.1 Antecedentes del problema 16

1.2 Planteamiento y formulación del problema 20

1.2.1 Planteamiento del problema 20

1.2.2 Formulación del problema 21

1.3 Justificación de la investigación 21

1.4 Delimitación de la investigación 22

1.5 Objetivo general 23

1.6 Objetivos específicos 23

1.7 Hipótesis 23

2. Marco teórico 24

2.1 Estado del arte 24

2.2 Bases teóricas 27

2.2.1 Definición de Precipitación 27

2.2.2 Procesos de la precipitación 28

2.2.2.1 Condensación 28

2.2.2.2 Coalescencia (fusión) 28

2.2.2.3 Proceso de Bergeon 28

2.2.3 Clasificación de las precipitaciones 29

2.2.4 Formas de precipitación 29

2.2.5 Factores que influyen en la Precipitación 30

2.2.6 Medición de la Precipitación 31

2.2.6.1 Aparatos de medición 32

2.2.6.1.1 Pluviómetros 32

2.2.6.2 Pluviógrafos 33

2.2.7 Distribución espacial y temporal 33

2.2.8 Definición de tormenta 34

2.2.9 Parámetros de Precipitación 34

2.2.9.1 Intensidad 34

2.2.9.2 Duración 34

2.2.9.3 Período 35

2.2.10 Determinación de la precipitación media 35

2.2.10.1 Método promedio aritmético 35

2.2.10.2 Método de los polígonos de Thiessen 36

2.2.10.3 Método de las curvas isoyetas 36

2.3 Marco legal 37

2.3.1 Constitución de la república del Ecuador 37

2.3.2 Ley orgánica de la defensa nacional 38

2.3.3 Plan Nacional del Buen Vivir (2013-2017) 38

2.3.4 Acuerdo Ministerial 137 39

2.3.5 Reglamento al Código Orgánico Del Ambiente 39

3. Materiales y métodos 41

3.1 Enfoque de la investigación 41

3.1.1 Tipo de investigación 41

3.1.2 Diseño de investigación 41

3.2 Metodología 42

3.2.1 Variables 42

3.2.1.1 Variable independiente 42

3.2.1.2 Variable dependiente 42

3.2.2 Tratamientos 42

3.2.3 Diseño no experimental 42

3.2.4 Recolección de datos 42

3.2.4.1 Recursos 43

3.2.4.2 Métodos y técnicas 43

3.2.5 Análisis estadístico 45

3.2.5.1 Media aritmética 45

3.2.5.2 Varianza 45

3.2.5.3 Covarianza 46

3.2.5.4 Coeficiente de correlación de Pearson 46

3.2.5.6 Análisis de regresión 47

3.2.5.6.1 Coeficiente de determinación R2 47

4. Resultados 48

4.1 Analizar el comportamiento de las variables mediante software y cálculos estadísticos de tendencia central en el período de estudio establecido. 48

4.2 Determinar la correlación y regresión lineal entre las variables de precipitación y temperatura mediante el uso de software estadístico entre los años 2009-2019. 59

4.3 Sugerir medidas de mitigación ante los riesgos de inundación en la ciudad de Quito. 61

4.3.1 Medidas previas al evento de inundaciones 61

4.3.2 Medidas durante y después de la ocurrencia de inundaciones 63

5. Discusión 65

6. Conclusiones 69

7. Recomendaciones 71

8. Bibliografía 72

9. Anexos 83

9.1 Figuras 83

9.2 Tablas 91

Índice de Tablas

Tabla 1. Recursos del proyecto 43

Tabla 2. Determinación del coeficiente de correlación y determinación de la variable precipitación y temperatura 59

Tabla 3. Regresión lineal de las variables 60

Tabla 4. Coordenadas geográficas de la ciudad de Quito 91

Tabla 5. Estaciones meteorológicas del INAMHI en el DMQ 91

Tabla 6. Rango de precipitación e intensidades 91

Tabla 7. Clasificación de pendientes 92

Índice de Figuras

Figura 1. Comportamiento de temperatura promedio anual de la estación Iñaquito del INAMHI entre los años 2009-2019 48

Figura 2. Comportamiento de temperatura promedio anual de la estación La Tola del INAMHI entre los años 2009-2019 49

Figura 3. Comportamiento de temperatura promedio anual de la estación Izobamba del INAMHI entre los años 2009-2019 49

Figura 4. Comportamiento de precipitación promedio anual de la estación Iñaquito del INAMHI entre los años 2009-2019 50

Figura 5. Comportamiento de precipitación promedio anual de la estación La Tola del INAMHI entre los años 2009-2019 51

Figura 6. Comportamiento de precipitación promedio anual de la estación Izobamba del INAMHI entre los años 2009-2019 51

Figura 7. Comportamiento de temperatura promedio mensual de la estación Iñaquito del INAMHI entre los años 2009-2019 52

Figura 8. Comportamiento de temperatura promedio mensual de la estación La Tola del INAMHI entre los años 2009-2019 53

Figura 9. Comportamiento de temperatura promedio mensual de la estación Izobamba del INAMHI entre los años 2009-2019 53

Figura 10. Comportamiento de precipitación promedio mensual de la estación Iñaquito del INAMHI entre los años 2009-2019 54

Figura 11. Comportamiento de precipitación promedio mensual de la estación La Tola del INAMHI entre los años 2009-2019 55

Figura 12. Comportamiento de precipitación promedio mensual de la estación Izobamba del INAMHI entre los años 2009-2019 55

Figura 13 Comportamiento de temperatura promedio anual de las tres estaciones entre los años 2009-2019 56
Figura 14 Comportamiento de precipitación promedio anual de las tres estaciones entre los años 2009-2019 57
Figura 15 Comportamiento de temperatura promedio anual de las tres estaciones entre los años 2009-2019 57
Figura 16 Comportamiento de precipitación promedio mensual de las tres estaciones entre los años 2009-2019 58
Figura 17. Grafica de dispersión entre la temperatura y precipitación 60
Figura 18. Ubicación geográfica de la ciudad de Quito, Ecuador 83
Figura 19. Mapa de las estaciones de Quito 84
Figura 20. Precipitaciones convectivas 85
Figura 21. Precipitaciones orográficas 85
Figura 22. Pluviómetros totalizadores diario 86
Figura 23. Pluviómetro YOUNG-S73100H 86
Figura 24. Pluviógrafo SERPE R01 3032 87
Figura 25. Pluviógrafo de marca TE525MM 87
Figura 26. Mapa de precipitaciones 88
Figura 27. Mapa de las áreas de inundación 89
Figura 28. Mapa de los barrios susceptibles a inundaciones en Quito 90

Resumen

En la ciudad de Quito se ha experimentado cambios en las variables climáticas por eso el presente trabajo de investigación se basa en el análisis del comportamiento de precipitación y temperatura promedio mensual y anual en 3 de las estaciones del INAMHI Iñaquito, La Tola e Izobamba entre los años 2009-2019 para disminuir los riesgos de inundación en el cantón. Este estudio busca también comprender el grado de relación entre las variables y predecir el valor futuro de la variable precipitación. La metodología aplicada fue con datos cuantitativos para poder calcular la variabilidad de las variables por medio del método de la media aritmética en Hoja Excel, debido a los datos faltantes de las estaciones se utilizó el método Razón Q y se determinó el coeficiente de Pearson y determinación por medio de un software estadístico IBM SPSS Statistics. Los resultados obtenidos del estudio muestran que existe un incremento en la tendencia de precipitación en las estaciones La Tola e Iñaquito, en cambio en Izobamba ha decrecido, esto puede ser debido al efecto de las islas de calor. En cuanto al segundo objetivo se pudo afirmar que existe una relación inversamente proporcional entre las variables y por el modelo de regresión se puede conocer cuánto varía la precipitación en función de la temperatura. Y por último se describió las debidas sugerencias sobre las medidas previas, durante y después de las ocurrencias de inundaciones.

Palabras claves: cambios climáticos, inundación, regresión, riesgos, tendencia, variabilidad.

Abstract

The city of Quito has experienced changes in climatic variables, so this research work is based on the analysis of the behavior of precipitation and average monthly and annual temperature in three of the INAMHI stations Iñaquito, La Tola and Izobamba between the years 2009-2019 to reduce the risk of flooding in the canton. This study also seeks to understand the degree of relationship between the variables and predict the future value of the precipitation variable. The methodology applied was with quantitative data in order to calculate the variability of the variable by means of the arithmetic mean method in Excel sheet, due to the missing data from the stations the Q-ratio method was used and the Pearson coefficient and determination was determined by means of a statistical software IBM SPSS Statistics. The results obtained from the study show an increase in precipitation trend in the stations La Tola and Iñaquito, on the other hand in Izobamba this may be due to the effect of heat islands. Regarding the second objective, it was possible to affirm that there is an inversely proportional relationship between the variables and through the regression model it is possible to know how much precipitation varies as a function of temperature. And finally, it was described the suggestions about the measures to be taken before, during and after the occurrence of floods.

Key words: climate changes, flooding, regression, risks, trend, variability.

1. Introducción

1.1 Antecedentes del problema

Creus (1997) describe que el escenario climático del último milenio de la Península Ibérica está caracterizado debido a la presencia de un episodio cálido en la Edad Media, el clima de los primeros siglos del milenio estaba caracterizado por los altos valores de precipitación y temperatura, con un régimen de gran regularidad hasta el avanzado del siglo XIV.

Entre los siglos XIV y XIX existió un periodo de enfriamiento también conocida como Pequeña Edad del Hielo (PEH) que alcanzó su momento crítico en el siglo XVII y se manifiesta hasta finales del XVIII y primeras décadas del XIX, en otras palabras hubo un incremento de la irregularidad pluviométricas en esas fechas por la disminución de la actividad solar y el aumento de las erupciones volcánicas porque sus cenizas alcanzan la parte alta de la atmósfera y esta nube de ceniza no permite la llegada de la radiación solar (Creus, 1997).

Según el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) (2002) durante el siglo XX las precipitaciones han aumentado entre un 5 y un 10% desde apenas 150 mm a más de 2500 mm en gran parte de las latitudes medias y altas de los continentes del hemisferio Norte, por otro lado, en gran parte de las áreas terrestres subtropicales es probable que las precipitaciones hayan decrecido en un promedio del 3%.

En estos tiempos las variaciones de las precipitaciones es uno de los efectos del cambio climático y se ha convertido en uno de los mayores retos que afronta la humanidad.

Según la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) (2017) los valores de precipitaciones en España han sido preocupantes en 2016-2017. Los niveles de lluvia

del año hidrológico cayeron en un 15% (de 648 milímetros de media a 551 milímetros). Combinado con el hecho de que agosto de 2017 fue el sexto periodo más cálido de todo el siglo XXI que dio lugar a un año de sequías más graves de la historia. Las cuencas hidrográficas del noroeste peninsular se encuentran en valores preocupantes nunca antes vistos (por debajo del 40% de su capacidad) y aquellas que suelen sufrir o soportar un estrés hídrico acusado como la cuenca del Júcar o la del río Segura están en torno al 10% de su capacidad.

García (2009) manifiesta que en gran parte de las estaciones climatológicas de México más del 70% de las precipitaciones anuales se obtienen de mayo a octubre. La nación se caracteriza por un régimen de precipitación estacional debido a la presencia de eventos climáticos como El Niño, La Niña, oscilación decadal del Pacífico, el monzón mexicano, tormentas tropicales y huracanes. El Niño se manifiesta en Baja California Norte y Sonora con expansiones en las lluvias invernales; sin embargo, este fenómeno provoca una disminución de la precipitación media en la estación seca en México.

Las precipitaciones son más abundantes del lado del Golfo de México que en el lado del Océano Pacífico, ya que mientras la costa del Golfo tiene en una gran extensión precipitaciones superior a los 2 000 mm, la del Pacífico no recibe más de 2 000 mm sino en sitios aislados. Existe, sin embargo, otra zona de lluvia muy abundante (mayor de 3 500 mm) ubicada en esta vertiente, el de la parte sureste de la Sierra Madre de Chiapas; aquí la abundante precipitación podría esperarse en cierta medida a la infuencia de los ciclones tropicales o huracanes tanto del Pacífico como del Golfo de México y, en parte, a la presencia en verano de la zona intertropical de convergencia que llega a esta porción del país, la mayor precipitación del espacio ocurre en septiembre (Amaro, 2003).

Según Amaro (2003) la parte más seca de México es la porción noroeste de la planicie costera del Pacífico, se encuentra dentro de la faja subtropical de altas presiones, tiene una altitud inferior a los 200 m y sus vientos o brisas dominantes son descendentes y secas, hay regiones, por ejemplo, la cercana al Río Colorado con menos de 50 mm de lluvia al año. La escasa precipitación en esta zona es convectiva en el verano y por algunas influencias o perturbaciones extratropicales dentro de los vientos del Oeste en el invierno.

En los últimos años y en diferentes áreas del Ecuador, el clima ha tenido un comportamiento anómalo que ha tenido como resultado la variabilidad en el comportamiento de las precipitaciones. En el caso específico de la precipitación se existen variaciones persistentes en su comportamiento multianual, con respecto a los valores máximos y mínimos y el adelanto y/o retardo de los períodos lluviosos o tormentosos que a la larga son superados por períodos de sequía (Villacis, 2017).

La costa ecuatoriana se ve afectada por una época lluviosa, que comienza generalmente en la segunda quincena del mes de diciembre de cada año, y alcanza sus valores máximos en los meses de febrero y marzo, luego disminuyen constantemente, para terminar en la primera quincena del mes de mayo y dando paso a la estación seca o poco húmeda, que va desde la segunda quincena del mes de mayo hasta la primera quincena de diciembre, caracterizada por nulas o escasas precipitaciones. En las zonas de Santa Elena, Manta y Portoviejo se presentan como las más secas (622 mm/año en Manta-Jipijapa), en contraste con las regiones aledañas a Santo Domingo, donde la precipitación normal en el año suma 2,262 mm/año (Mejia, 2017).

Según Cedeño (2010) en la sierra ecuatoriana abarcada entre los 1,000 m.s.n.m. (metros sobre el nivel del mar), experimenta una influencia variante o cambiante

de las masas de aire marítimo y continental con dos estaciones lluviosas (febrero-mayo y octubre-noviembre). El primer período seco (entre junio y septiembre) es mucho más seco que el otro período (diciembre).

Dado que las masas de aire pierden gran parte de su humedad en ambas estribaciones occidentales de las cordilleras de los Andes, la precipitación en los valles interandinos oscila entre 800 y 1,500 mm/año, mientras que el pie de montaña cercano a Puyo alcanza los 3,443 mm/año. En cambio, en el distrito oriental hay precipitaciones permanentes durante casi todo el año, siendo la precipitación más destacada del Ecuador en la zona de Mera y Puyo (territorio del Pastaza), donde supera los 4.500 mm/año. Su sistema es administrado por una compleja circulación de masas de aire estacionales que fluyen desde los principales centros de alta y baja presión ubicados entre Bolivia y Brasil (Cedeño, 2010).

En toda la Sierra, el patrón de distribución de precipitaciones es bimodal, esto quiere decir que tiene dos picos durante el año. El primer pico inicia en septiembre u octubre, mientras que el segundo, es en abril que registra una mayor acumulación de aguas. Un ejemplo claro fue en abril del 2009 la parroquia Guamaní, al sur de la capital que registró un exceso de precipitación, en aproximadamente 2 horas, la precipitación acumuló 68.1 mm en la estación atmosférica ubicada en la zona, cifra superada por la precipitación de mayo de 2007 cuando se registraron 110.2 mm en la estación de El Camal. Las fuertes lluvias provocaron el desbordamiento de la quebrada de Caupicho, con afectaciones a los barrios del sur: Guajaló, Argelia, etc. (La Hora, 2020).

Los estudios realizados por Villacis (2017) indican que la ciudad de Quito la época de lluvias y el periodo seco dependen de la dirección de los vientos cargados con nubes que llegan desde la Amazonía, las distintas corrientes que llegan desde la Costa y las montañas de la Cordillera de los Andes aledañas a la ciudad.

1.2 Planteamiento y formulación del problema

1.2.1 Planteamiento del problema

La variabilidad climática difiere en las distintas actividades antropogénicas como la deforestación, cambios en el uso de suelos las cuales causan impactos negativos sobre los ecosistemas y la diversidad biológica, también alteran el clima tanto local como regional (Magrin, 2007).

El impacto de la variabilidad climática sobre la producción agrícola define la evolución de los factores monetarios y los probables cambios en el uso de la tierra, en otras palabras, la distribución de la precipitación es uno de los elementos que influyen en el buen desarrollo de las actividades económicas (principalmente las primarias). Su efecto se expresa en la variación del rendimiento entre períodos pasados y escenarios climáticos futuros. Entre los escenarios que surgen de la variabilidad climática están las inundaciones intermitentes que influyen en las áreas rurales (hacienda, sembrados y viviendas) y zonas urbanas (Esperanza, 2013).

Según Secretaría de Ambiente del Municipio del Distrito (SAMDMQ) (2015) la ciudad de Quito a lo largo de los últimos 10 años la superficie afectada por la práctica de quema presenta un promedio de 400 ha incendiadas anualmente en donde los meses con mayor intensidad de incendios van desde junio hasta octubre (época de menores lluvias), y las zonas de mayor incidencia forman los cinturones verdes de la ciudad. La escasez de precipitaciones en 2009 provocó una sequía prolongada que ha ocasionado voluntaria o involuntariamente una serie de incendios en todo el distrito que supera las 2 700 ha.

En el área de estudio son recurrentes las inundaciones de distinta magnitud y se deben a causas estructurales y climáticas. Entre las causas estructurales se evidencia que la red de drenaje urbana no está prevista o diseñada ocasiones con una

probabilidad superior al 10% de probabilidad, en cuyo caso, la eficiencia del sistema queda restringida ante la ocurrencia de eventos extremos de precipitación, cuya singularidad y características actuales se deben a elementos de orden climático regional. Un aspecto puntual a considerar es la alta tasa de deforestación en las zonas perimetrales de la ciudad de Quito que en general tienen pendientes elevadas, que favorecen la torrencialidad del escurrimiento superficial (Villacis, 2017).

Las precipitaciones extremas y en combinación con las características topográficas de la ciudad con pendientes altas o elevadas, facilitan los procesos erosivos y generan efectos tales como deslizamientos en masa, aluviones, inundaciones, colapso del sistema de alcantarillado, que son parte de la vida cotidiana urbana en la ciudad de Quito (Villacis, 2017).

Revisar la variación de la precipitación de manera constante para evitar o reducir los riesgos de inundación, con la realización de este proyecto se puede crear un mapa donde se localice los puntos de mayor y escases de precipitación para después elaborar un plan que ayuden a disminuir los riesgos de inundación en el cantón de Quito.

1.2.2 Formulación del problema

¿Cómo es el comportamiento de la precipitación en la ciudad de Quito entre los años 2009-2019?

1.3 Justificación de la investigación

Su importancia radica en conocer el comportamiento de la precipitación en los años, 2009-2019, ya que las condiciones climáticas extremas siempre han afectado a la población, principalmente a quienes trabajan en el área de la agricultura, teniendo en períodos secos, pérdidas de cultivos agrícolas por sequía y en períodos extremadamente lluviosos o húmedos por pérdidas por inundaciones e enfermedades;

también la generación de energía eléctrica, las comunicaciones, la ganadería, la pesca, y el suministro de aguas subterránea, se ven afectadas por las variaciones o cambios del sistema climático (Amaya, 2019).

Zubieta (2019) describe que el estudio de las precipitaciones es de fundamental importancia en la evaluación y predicción de la amenaza natural de la zona de estudio debido a ciertos factores desencadenantes de los procesos de erosión, desbordamiento e inundaciones que afectan a la ciudad de Quito. Es importante conocer el comportamiento de la precipitación de la ciudad de Quito, lo cual se suma a la información de los elementos de una ciudad en varios lapsos de tiempo, esto permite una adecuada preservación del medio ambiente.

Además de forma fundamental permite conocer la disponibilidad y distribución de la lluvia en la ciudad, debido a ciertos factores pueden cambiar los valores de la lluvia representativos de la zona, la distribución espacial y temporal de la precipitación ayuda a proponer políticas de planificación de inundaciones y generalmente para mitigar el impacto de precipitaciones extremas. Por esta razón las estaciones meteorológicas localizadas en distintas partes del territorio son necesarias para poder obtener una información adecuada que permita caracterizar la intensidad de las precipitaciones y realizar los pronósticos de posibles crecidas (Zubieta, 2019).

1.4 Delimitación de la investigación

- **Espacio:** La investigación se realizó en la ciudad de Quito situada en la zona central norte de la Cordillera de los Andes. Las coordenadas geográficas son -78.5248 0° 13′ 31″ Sur, 78° 31′ 29″ Oeste.
- **Tiempo:** El presente trabajo se realizará en un tiempo aproximado de 4 meses.
- **Población:** Investigación orientada a los ciudadanos de la ciudad de Quito,

según el censo poblacional del año 2010 del INEC suman 2.239.191 habitantes.

1.5 Objetivo general

Analizar el comportamiento de la precipitación y su relación con la temperatura mediante el uso estadístico descriptivo para la disminución de riegos de inundación en la ciudad de Quito en el período comprendido 2009-2019.

1.6 Objetivos específicos

- Analizar el comportamiento de las variables de precipitación y temperatura mediante cálculos estadísticos de tendencia central en Hoja Excel en el período de estudio establecido.
- Determinar la correlación y regresión lineal entre las variables de precipitación y temperatura mediante el uso de software estadístico IBM SPSS Statistics entre los años 2009-2019.
- Sugerir medidas de mitigación ante los riesgos de inundación en la ciudad de Quito.

1.7 Hipótesis

La precipitación en la ciudad de Quito ha tenido un considerable incremento desde el año 2009 hasta 2019.

2. Marco teórico

2.1 Estado del arte

Sánchez (2008) indica que la distribución de la precipitación en el tiempo y espacio en Michoacán, México obedece a la presencia del relieve, en combinación con los vientos alisios predominantes, a las brisas marinas del Océano Pacífico, a los ciclones tropicales, a la invasión de masas de aire polar y a la confección local. En la región Norte hubo una distribución irregular de precipitación en donde predominan precipitaciones de orden de 800 a 1000 mm, pero en los años 1996 a 2004 hubo precipitaciones entre 636.0 y 1 190.2 mm, en otras palabras, se presentaron en el periodo, cinco años por debajo de la normal y cuatro ligeramente superiores. La temporada lluviosa abarcó parte del otoño (mayo-octubre) y el verano en donde los meses más lluviosos fueron julio, agosto y septiembre con más de 200mm de precipitación.

En la Región Cuenca del Rio Balsas y Valles de Oaxaca se registraron precipitaciones de 600-800 mm. Entre 1971-2000 la normal de esta variable fue de 726 mm; en los últimos años analizados este elemento fue superior a la normal en cinco años y en cuatro años inferior a 726 mm. En la región Pacífico Sur las normales climatológicas de los años 1971-2000 presentó una precipitación de 1 000 mm, entre 1996-2004 los últimos años la precipitación total y su distribución han sido variables, se presentaron años por abajo (tres) y superiores (seis) a la normal (Sanchez, 2008).

El comportamiento del proceso de precipitación en la ciudad de San Gil, Colombia entre los años 1954, 1958, 1961 y 1964 mostraron los valores anuales más bajos, los cuales comprendieron 900.9 mm, 817.3 mm, 709.6 mm y 893 mm respectivamente; mientras que, en los años 1979, 2007 y 2010 se presentaron los valores anuales más altos, estos llegaron a ser 1593.1 mm, 1511.9 mm y 1622.5 mm, esto indica que existe

un crecimiento de los valores totales anuales que va relacionado con el crecimiento de los caudales en esta ciudad ya que entre mayor sea el nivel de precipitación, lo más seguro es que el nivel del río aumente y esto se refleja en los caudales del mismo (Giraldo, 2015).

La Dirección Nacional de Cambio Climático, Producción y Consumo Sustentable explica que en la ciudad de Cuenca se ha registrado una variación en los últimos años al presentarse eventos relevantes como es el mes de Noviembre del 2016 con periodos de sequias de modo que en el rio Yanuncay se registró un caudal de 1,22 m3/s cuando en épocas normales es de 5 m3/s, también existe irregularidades en invierno como el 14 de marzo del 2016 alcanzo 143 m3/s cuando normalmente esta 150 m3/s ocasionando algunos desbordamientos y perdidas de infraestructuras en las orillas del rio (Brito, 2018).

El comportamiento en tendencias de precipitación en Quito, es difícil establecer un patrón en el comportamiento en función de la altura, o la ubicación geográfica de las estaciones. Aunque los cambios a diez años oscilan entre 1 mm y los 8 mm, se reconocen cambios importantes para los sectores de Rumipamba en donde se registra un incremento de 18,63 mm por cada diez años, y en la Chorrera en donde el incremento llega a ser de 13,4 por cada diez años. Este comportamiento, aunque puede parecer desorientador, no contradice los posibles efectos del cambio climático, en los cuales se menciona que los comportamientos graduales de la precipitación pueden incrementarse como disminuir, pero que debe evidenciarse un aumento de eventos extremos (Serrano, 2012).

Cabezas (2018) explica que en la ciudad de Quito entre los años 1961-2016 la parroquia Guamani ha tenido una variación de precipitación muy alta, siendo el año 1983 el más lluvioso con 380mm. En la parroquia Iñaquito y Tumbaco entre los años

1974-2019 tuvo un ligero incremento en los últimos años. A diferencia del Sur de Quito. En el año 2012 en la parroquia Inaquito se evidenció la mayor precipitación con 320mm, en cambio en la parroquia Tumbaco en el año 2001 la precipitación fue de 250mm, en conclusión, la parroquia Guamani llueve más que en las otras dos parroquias de la ciudad de Quito.

Según Gavilanes (2020) para el análisis del coeficiente de correlación de Pearson de datos meteorológicos y de sensores remotos entre los años 2000 y 2018 en Quito se empleó el programa R versión 3.6.1. Las variables utilizadas fueron la temperatura máxima y temperatura media que explican de mejor forma el comportamiento del indicador ambiental en el estudio de la temperatura superficial, para el caso del sensor Landsat 7 el grado de relación existente para temperatura máxima fue de 0,799 y 0,875 para temperatura media con un grado de correlación aceptable, mientras que para el sensor Landsat 8 fue de 0,860 en temperatura mínima y de 0,624 para temperatura máxima.

Según Guzmán (2012) se obtuvieron valores del coeficiente de correlación entre las 2 estaciones, una es la zona de Soldados donde se encuentran las microcuencas de Paramo en la provincia de Azuay se determinó que las series de las estaciones pluviométricas Arias 1, Arias 2, etc. mostraron una correlación aceptable entre ellas mayor a 0.78, esto puede deberse a que están cerca una de otra siendo las estaciones más distantes Arias 1 con Cancán, con 8 km de distancia. En cambio, la estación de la zona de Mazar donde se encuentran el Bosque montano alto en la provincia de Cañar se determinó que las series de las estaciones Hcda. Libertad, Lamar, etc. presentaron correlaciones aceptables mayores a 0.95, siendo 1.94 km la distancia más lejana entre Hcda. Libertad y Mesapata.

Anzures (2018) explica que la correlación de variables ambientales como temperatura ambiente, de superficie y variables fisiológicas como temperatura rectal y frecuencia respiratoria, temperatura de cabeza, lomo, etc. con índices de confort en vacas Holstein lactantes en un ambiente caluroso. La frecuencia respiratoria presento correlación positiva moderada (0.45 a 0.59) con todas las variables ambientales y los índices de confort. En conclusión, se observó una correlación positiva de moderada a alta ($P<0.01$) entre las variables ambientales y los variables fisiológicas, ya que, con el incremento de las variables ambientales, tiende a aumentar el metabolismo de los animales para mantener su homeotermia.

Según Alanís (2017) la relación que presentan las variables climatológicas como temperatura ambiente promedio (Tm), precipitación pluvial (Pp). temperatura ambiente mínima (Tmín.), temperatura de rocio (Tr), temperatura máxima (Tmáx.) y rapidez del viento (Rv) para un diseño ecotecnológico, se realiza un estudio de correlación lineal de Pearson en donde la rapidez de viento y la precipitación pluvial no muestran ninguna correlación con las demás variables, mientras que la temperatura ambiente, mínima, máxima y temperatura de roció tienen una correlación positiva con la temperatura ambiente promedio con valores de: 0,94, 0,88 y 0,66, en otras palabras, ambas variables aumentan o disminuyen simultáneamente.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Definición de Precipitación

Según Te Chow (1988) es el conjunto de partículas sólidas o liquidas que caen desde la atmósfera hacia la superficie terrestre, la precipitación forma parte del ciclo del agua llevando agua dulce a la parte emergida de la corteza terrestre y, por lo tanto beneficiando la vida en nuestro planeta, tanto de plantas como de animales, que requieren agua para vivir.

2.2.2 Procesos de la precipitación

2.2.2.1 Condensación

La precipitación empieza a formarse cuando asciende el aire cálido y húmedo., Las nubes se forman cuando el vapor de agua comienza a condensarse en núcleos de condensación al enfriarse el aire. Cuando hay una cantidad considerable de agua gaseosa dentro de las nubes el agua pasa del estado gaseoso al líquido o al estado sólido, las gotas de agua incrementan de tamaño hasta obtener una masa y pueden suceder los siguientes dos procesos (Bidegain, 2011).

2.2.2.2 Coalescencia (fusión)

La coalescencia ocurre cuando las gotas de agua se fusionan para formar gotas de agua más grandes, o cuando las gotas de agua se congelan en cristales de hielo. La resistencia del aire hace que las gotas de agua en la nube permanezcan estacionarias. Cuando ocurre la turbulencia del aire, las gotas de agua chocan y producen gotas de agua más grandes. A medida que caen estas gotas, continúa la fusión, por lo que las gotas se vuelven lo suficientemente pesadas como para vencer la resistencia del aire y descender como lluvia. La coalescencia ocurre con mayor frecuencia en nubes por encima del punto de congelación (Bidegain, 2011).

2.2.2.3 Proceso de Bergeon

Ocurre cuando los cristales de hielo adquieren moléculas de agua de las gotitas de agua superfrías cercanas. Cuando estos cristales de hielo ganan bastante masa, comienzan a descender. Esto generalmente requiere más masa que la fusión entre el cristal y las gotitas de agua vecinas. Este proceso es dependiente de la temperatura, ya que las gotitas de agua superfrías sólo existen en una nube por debajo de la congelación. Además, debido a la gran diferencia de temperaturas entre la nube y el

nivel de tierra, estos cristales de hielo pueden derretirse cuando caen y convertirse en lluvia (Bidegain, 2011).

2.2.3 Clasificación de las precipitaciones

Según Gallego (1997) las diferentes precipitaciones que se genera en la atmósfera, se clasifica en precipitación de orográfica, precipitación convectiva y precipitación ciclónica. En nuestro país, en la ciudad de Quito se genera una precipitación convectiva y orográfica.

- Precipitaciones convectivas: Son causadas por el ascenso de aire cálido más el liviano o ligero hasta su condensación y la diferencia de temperatura puede ser el efecto de calentamientos diferenciales en la superficie o en la capa superior del aire, generándose la característica nubosidad de tipo cumuliforme, el inicio de las precipitaciones en forma de chubascos o tormentas, en general de tipo puntual.
  - Precipitaciones orográficas: La elevación del aire es generado por la presencia de una cadena montañosa. Los vientos procedentes del océano y cargados con aire húmedo se encuentran con una cadena montañosa que eleva a capas más frías, condensándose el vapor y constituyendo nubes y, por tanto, las precipitaciones concebibles, las cuales son mayor a barlovento, disminuyendo rápidamente a sotavento. En las cadenas montañosas importantes, la mayor precipitación se produce antes de la divisoria. Por otra parte, con menores altitudes, el máximo se produce pasada ésta, debido a que el aire sigue subiendo.

2.2.4 Formas de precipitación

Villodas (2008) explica que se pueden distinguir diversos tipos de precipitación:

a) Lluvia: Es la precipitación atmosférica en estado líquido de gotas de agua. La mayor mayoría de ellas tienen en general un diámetro igual o mayor que medio

milímetro y caen en el aire en calma con una velocidad superior a 2 m/s. Según sus intensidades pueden distinguirse en: Ligera, para tasas de caída de hasta 2.5 mm/h, la moderada de 2.5 a 7.5 mm/h y fuerte por encima de 7.5 mm/h.

b) Llovizna: Son pequeñas gotas de agua cuyo diámetro de 0.1 a 0.5mm, con una velocidad de caída bastante baja.
c) Granizo: Precipitación en formas no uniforme de hielo su diámetro varía entre 5 mm - 125 mm y se generan por nubes convectivas.
d) Escarcha: Capa de hielo blando que usualmente contiene bolas de aire.
e) Nieve: Está compuesta de cristales de hielo blanco traslúcido.

2.2.5 Factores que influyen en la Precipitación

"Los principales factores que afectan al ciclo del agua son los factores climáticos como la altura del territorio, el viento, la temperatura y la presión que influyen en la humedad del aire" (Bateman, 2007, pág. 3). Está directamente influida por:

- Relieve

El relieve tiene una influencia permanente en los componentes climáticos. Cuando aumenta la altitud, disminuye el factor de presión ambiental, aumenta la radiación solar, disminuye la temperatura del aire, cambia la dirección del viento y se ajustan las alturas pluviométricas. La orografía excepcionalmente específica del Ecuador caracteriza a lugares regulares extremadamente individualizados que dan lugar a 3 masas de aire con cualidades totalmente diferentes (Pourrut & Gomez, 2002, pág. 3).

a) Masas de aire tropical continental, en la llanura amazónica y la depresión litoral del Guayas, con una alta temperatura y una humedad importante debida a la evaporación de los pantanos y a la evapotranspiración de los bosques. Esas masas de aire pueden estar sometidas a 3 procesos de enfriamiento adiabático y producir importantes precipitaciones a lo largo de las estribaciones externas

de las dos cordilleras del área.

b) Masas de aire frío continental, alrededor del pico de los principales volcanes, con una humedad relativa importante, independientemente de que no se convierta en fuertes precipitaciones debido al frío predominante.

c) Masas de aire templado continental, en las zonas ubicadas entre 2000 y 3000 m.s.n.m aproximadamente, con un contenido de agua variable. En general muy bajo cuando se sitúan en las cuencas interandinas.

- Viento

Según Línea Verde (2014) el viento es el resultado de los movimientos del aire a distintas presiones, cuando se concentra la humedad en una zona y esta asciende hasta una capa de aire más fría, se generan las precipitaciones.

- Temperatura

Es la cantidad de la energía solar mantenida por el aire en un momento dado se llama temperatura. En la superficie terrestre está controlada por la porción de calor almacenado, que por lo tanto depende del flujo de calor por la radiación orientada al sol (entrada) y la radiación terrestre (salida), al igual que los diferentes componentes asociados en los procesos, estos componentes pueden ser el nivel de disipación y el desbordamiento de la superficie (Brito, 2018, pág. 31).

La distribución de calor dentro del sistema climático, se da por medio de las circunstancias oceánicas y atmosféricas que está relacionado con la variación altitudinal, adicionalmente la temperatura de la superficie terrestre cambia siguiendo un período diario y otro anual (Salazar, 2015).

2.2.6 Medición de la Precipitación

Las precipitaciones se miden en altura de agua, o grosor medido, de la lámina de agua ascendente que se acumularía en una superficie horizontal, si todas las

precipitaciones se reunieran sobre ella. La precipitación se expresa en mm de agua por unidad de superficie, por lo que equivale a l/m2. Las técnicas de valoración y medida de la precipitación del agua se reúnen bajo el nombre de pluviometría. Para la medida y registro de las precipitaciones utiliza un material de observación básico muy sencillo, pero de cierta variedad y dificultad en cuanto a instalación, reglas de utilización e interpretación de sus medidas (Instituto Geografico de Aragón, 2012).

2.2.6.1 Aparatos de medición

2.2.6.1.1 Pluviómetros

Son los más generalmente utilizados en el cual miden la cantidad de agua en períodos cortos (1 día) en un determinado lugar siendo la unidad de medida en milímetros (mm), se emplea en las estaciones meteorológicas para la recogida y medición de la precipitación. Según Chassaigne, Ávila, & otros (2013) el funcionamiento del pluviómetro depende en la recolección del agua en un receptor de captación que luego la conduce a un balancín tipo recolector que consta de dos cavidades. El agua se va acumulando en una de las cavidades y cuando llega a cierto peso ejecuta un movimiento de descarga que permite exponer la siguiente cavidad a la colección de agua y activar un pulso eléctrico que transmite una señal de registro, cada pulso eléctrico es idéntico a una lámina de agua de 1 mm.

- Pluviómetros totalizadores diario

Es un instrumento para estimar la lluvia que cae en un sitio, con unidades en milímetros (mm); se lo conoce como totalizador diario porque totaliza, suma, acumula, los milímetros de lluvia que descienden durante todo un día (a propósito, un milímetro de lámina de agua lluvia cuadrado a un litro por metro cuadrado de superficie) (Mejias, 2017, pág. 2).

- Pluviómetro YOUNG-S73100H

El pluviómetro Young utiliza un dispositivo de cubeta basculante para una lluvia simple y eficaz de medición, se caracteriza por tener un área de captación de 200 cm² y la resolución de medición de 0.1 mm (Ammonit, 2017).

2.2.6.2 Pluviógrafos

Es un aparato que da la variedad de la altura de la precipitación en un tiempo constante (pluviograma) o en otras palabras está diseñado para determinar la intensidad de la precipitación a través de tramos significativos de tiempo. Este tipo de estimación se utiliza en estudios hidrológicos, meteorológicos, climatológicos, rurales, etc. (González, 2016, pág. 2).

- Pluviógrafo SERPE R01 3032

El Pluviógrafo Serpe se caracteriza por un espacio de captación de 471,43 cm² (con una sección transversal que no se obstruye). El control de flujo funciona con una batería individual de 24 V no recargable, que debe ser sustituida ocasionalmente. En cada tip se dispara un pulso eléctrico, que es comprobado por el circuito de conteo del datalogger propio del pluviógrafo. El volumen alineado para el volcado del recipiente es de 20 ml, lo que es idéntico a una altura de precipitación de 0,5 mm (Muñoz, 2015).

- Pluviógrafo TE525MM

El pluviógrafo TE525MM tiene un espacio de captación de 471,43 cm² y una altura de 29,21 cm. Según los detalles del fabricante, el medidor de lluvia funciona con precisión en temperaturas que van de 0 °C a 50 °C. El TE525MM mide en incrementos de 0,1 mm y tiene una salvaguarda que limita el impacto del viento en las estimaciones que realiza (Campbell Scientific, 2013).

2.2.7 Distribución espacial y temporal

Las precipitaciones no son uniformes, ya que fluctúan en el espacio y el tiempo según el patrón general de difusión ambiental y los factores cercanos explícitos de

cada zona. Para evaluar con precisión los atributos objetivo del medio ambiente, en el que la precipitación, y en particular la lluvia, asume una parte vital, la precipitación mes a mes deben haber sido observadas por un tiempo de en todo caso 20 a 30 años, que se conoce como un largo período de percepción (Instituto Geografico de Aragón, 2012).

La variedad estacional de las precipitaciones, sobre todo las precipitaciones, caracteriza el año hidrológico. Comienza poco después del mes con el tramo menos extenso de precipitaciones normales. La distribución espacial de las precipitaciones sobre las masas terrestres es excepcionalmente diferenciada, y hay enormes territorios como los desiertos, donde las precipitaciones son muy escasas, del orden 0 a 200 mm de precipitación cada año (Instituto Geografico de Aragón, 2012).

2.2.8 Definición de tormenta

“Es el conjunto de lluvias que obedecen a una misma perturbación meteorológica y de características bien definidas. Una tormenta puede durar desde unos pocos minutos hasta varias horas y aun días y puede abarcar desde una zona pequeña hasta una extensa región” (Chereque, 2012, pág. 44).

2.2.9 Parámetros de Precipitación

2.2.9.1 Intensidad

Es la tasa temporal de precipitación, se mide en mm/h y su valor varía a lo largo de la tormenta, particularmente de cada tormenta es la intensidad máxima que se haya presentado (Chereque, 2012).

2.2.9.2 Duración

“Es el tiempo transcurrido entre el inicio y el fin de la tormenta, es medido en minutos o en horas y tiene gran importancia en la determinación de las intensidades máximas” (Chereque, 2012, pág. 44).

2.2.9.3 Período

Es un período de tiempo dentro de la duración de la tormenta. Se seleccionan períodos de duración como 10 min, 30 min, 60 min, 120 min, 240 min, lo que se busca son las intensidades máximas para estos períodos de tiempo (Chereque, 2012).

2.2.10 Determinación de la precipitación media

García (2004) menciona que la precipitación media, se determina específicamente para un área determinada o en el mejor de los casos para una cuenca hidrográfica específica, procurando tomar los datos de precipitación lo más correctamente posible para que no se tengan datos no verídicos, es decir, que debe establecer previamente la consistencia de los registros de precipitación. Después se utiliza el método más adecuado dependiendo de las condiciones de topografía del lugar y distribución de pluviómetros. Estos pueden ser factores limitantes para el buen funcionamiento de algunos métodos, se podrá estimar la precipitación media en un área o lugar en particular.

2.2.10.1 Método promedio aritmético

Consiste en igualar la precipitación media caída sobre una cuenca al promedio aritmético de las lluvias registradas en los pluviómetros de la zona, en otras palabras, es el resultado obtenido al dividir la suma de las profundidades de agua caída de los registros de todas las estaciones pluviométricas, por el número de estaciones. Por lo tanto, se deben considerar los valores de precipitación pluvial de las estaciones dentro y en límite de un área analizada y no tomar en cuenta los valores de las estaciones circundantes que no caigan dentro de la región considerada. Este método es el más simple pero el más cuestionable de todos, que da unos buenos estimativos en áreas planas, si los pluviómetros están distribuidos uniformemente y el valor captado por cada uno de los pluviómetros no difiere mucho a partir de la media (García, 2004).

2.2.10.2 Método de los polígonos de Thiessen

Este método es aplicable a zonas con una distribución irregular o no uniforme de estaciones y done los accidentes topográficos no jueguen un papel importante en la distribución de las lluvias. Para su estimación, se caracteriza el espacio de impacto de cada estación definiendo límites entre estaciones cercanas, estas líneas se dividen con perpendiculares y se asume que todo el territorio comprendido dentro de los puntos de corte formados por la convergencia de estas perpendiculares alrededor de la estación ha tenido una precipitación de la misma suma que la de la estación. Por último, calculando el territorio comprendido por cada estación y relacionándolo con la región completa, se obtienen las cargas relativas para cada pluviométrico y después se adquiere el valor de la precipitación normal a partir de una normal ponderada (García, 2004).

2.2.10.3 Método de las curvas isoyetas

Para promediar la precipitación es el método más exacto sobre un área, donde la ubicación de las estaciones y las cantidades de lluvia se grafican en un mapa apropiado y se dibujan las líneas de igual precipitación o isoyetas, este método consiste en trazar curvas de igual precipitación para un periodo escogido. Las curvas isoyetas son líneas que unen puntos de igual cantidad de lluvia, y se trazan interpolando los datos puntuales dados por los diferentes pluviómetros con una técnica similar utilizada en topografía, y de acuerdo a las condiciones locales del área. Además, los intervalos de profundidad de precipitación y de aumento de tiempo se toman de acuerdo a la necesidad del problema (García, 2004).

Las áreas entre isoyetas sucesivas (por lo general tomando el promedio de dos valores de las isoyetas) son medidas y se multiplica por el promedio de precipitación

entre las isoyetas adyacentes, el promedio total para el área es entonces la sumatoria de este producto y dividiendo este por el área total considerada (García, 2004).

2.3 Marco legal

2.3.1 Constitución de la república del Ecuador

Sección Novena: Gestión del riesgo

Art. 389.- El Estado protegerá a las personas, las colectividades y la naturaleza frente a los efectos negativos de los desastres de origen natural o antrópico mediante la prevención ante el riesgo, la mitigación de desastres, la recuperación y mejoramiento de las condiciones sociales, económicas y ambientales, con el objetivo de minimizar la condición de vulnerabilidad (Asamblea Nacional de la República del Ecuador, 2018, pág. 118).

El sistema nacional descentralizado de gestión de riesgos está compuesto por las unidades de gestión de riesgo de todas las instituciones públicas y privadas en los ámbitos local, regional y nacional. El Estado ejercerá la rectoría a través del organismo técnico establecido en la ley. Tendrá como funciones principales, entre otras:

1. Identificar los riesgos existentes y potenciales, internos y externos que afecten al territorio ecuatoriano.
2. Generar, democratizar el acceso y difundir información suficiente y oportuna para gestionar adecuadamente el riesgo.
3. Asegurar que todas las instituciones públicas y privadas incorporen obligatoriamente, y en forma transversal, la gestión de riesgo en su planificación y gestión.
4. Fortalecer en la ciudadanía y en las entidades públicas y privadas capacidades para identificar los riesgos inherentes a sus respectivos ámbitos de acción, informar sobre ellos, e incorporar acciones tendientes a reducirlos.
5. Articular las instituciones para que coordinen acciones a fin de prevenir y mitigar los riesgos, así como para enfrentarlos, recuperar y mejorar las condiciones anteriores a la ocurrencia de una emergencia o desastre.
6. Realizar y coordinar las acciones necesarias para reducir vulnerabilidades y prevenir, mitigar, atender y recuperar eventuales efectos negativos derivados de desastres o emergencias en el territorio nacional.
7. Coordinar la cooperación de la ayuda humanitaria e información para enfrentar situaciones emergentes y/o desastres derivados de fenómenos naturales, socio-naturales, o antrópicos a nivel nacional e internacional.

Art. 390.- Los riesgos se gestionarán bajo el principio de descentralización subsidiaria, que implicará la responsabilidad directa de las instituciones dentro de su ámbito geográfico. Cuando sus capacidades para la gestión del riesgo sean insuficientes, las instancias de mayor ámbito territorial y mayor capacidad técnica y financiera brindarán el apoyo necesario con respeto a su autoridad en el territorio y sin relevarlos de su responsabilidad (Asamblea Nacional de la República del Ecuador, 2018, pág. 118).

Capítulo Segundo: Biodiversidad y recursos naturales
Sección primera: Naturaleza y ambiente

Art. 397.- Para garantizar el derecho individual y colectivo a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, el Estado se compromete a:
(Numeral 5) Establecer un sistema nacional de prevención, gestión de riesgos y desastres naturales, basado en los principios de inmediatez, eficiencia, precaución, responsabilidad y solidaridad (Asamblea Nacional de la República del Ecuador, 2018, pág. 120) .

Sección séptima Biosfera, ecología urbana y energías alternativas

Art. 414.- El Estado adoptará medidas adecuadas y transversales para la mitigación del cambio climático, mediante la limitación de las emisiones de gases de efecto invernadero, de la deforestación y de la contaminación atmosférica; tomará medidas para la conservación de los bosques y la vegetación, y protegerá a la población en riesgo (Asamblea Nacional de la República del Ecuador, 2018, pág. 124).

2.3.2 Ley orgánica de la defensa nacional

Art 5.- En caso de grave conmoción interna o catástrofes naturales, previa declaratoria del estado de emergencia, el presidente de la República, a través del jefe del Comando Conjunto de las Fuerzas Armadas, podrá delegar la conducción de las operaciones militares, a los comandantes de las Fuerzas de Tarea, quienes tendrán mando y competencias, de acuerdo con las normas y planes respectivos (Presidencia del Congreso Nacional, 2007, pág. 3).

2.3.3 Plan Nacional del Buen Vivir (2013-2017)

Políticas y lineamientos estratégicos

Políticas: 7.10: Implementar medidas de mitigación y adaptación al Cambio Climático para reducir la vulnerabilidad económica y ambiental con énfasis en grupos de atención prioritaria (República del Ecuador, 2013, págs. 238-239).

a. Incorporar los criterios de mitigación y adaptación al cambio climático en la planificación e inversión de los diferentes niveles y sectores del Estado de manera coordinada y articulada.
b. Implementar programas de prevención, mitigación y adaptación al cambio climático, así como de evaluación de impacto, vulnerabilidad y riesgo en el territorio para los diferentes sectores productivos y asentamientos humanos, con énfasis en los sectores priorizados, los grupos de atención prioritaria y los ecosistemas frágiles.
c. Minimizar el impacto del cambio climático en el patrimonio natural, el funcionamiento de los ciclos vitales y la oferta de bienes y servicios que proporcionan los diversos ecosistemas.
d. Incorporar criterios de mitigación y adaptación al cambio climático en la formulación y evaluación de planes y proyectos estratégicos, así como en los planes de contingencia que puedan afectar la infraestructura y la provisión de servicios.

e. Desarrollar actividades dirigidas a aumentar el conocimiento, la concienciación y la participación ciudadana en actividades relacionadas con la gestión del cambio climático.
f. Fortalecer el Sistema Nacional de Información con estadística geoespacial y documental, con énfasis en hidrometereología y agroclimatología, para el monitoreo permanente del cambio climático, considerando factores de riesgo y vulnerabilidad.
g. Promover la investigación aplicada, el desarrollo, la transferencia y la desagregación de tecnología, valorando el conocimiento y las prácticas ancestrales sustentables para la prevención, la mitigación y la adaptación al cambio climático.
h. Promover la eliminación de incentivos perversos para la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero en los sectores dependientes de combustibles fósiles.
i. Fortalecer la participación nacional en las negociaciones internacionales de cambio climático para lograr mayor efectividad en la gobernanza ambiental y en el cumplimiento de los compromisos para la transferencia de tecnología, la consolidación de una nueva arquitectura financiera y la transferencia de recursos financieros por parte de los países industrializados, como compensación a los efectos negativos del cambio climático en los países no industrializados.

2.3.4 Acuerdo Ministerial 137

Art. 5.- Planes, Programas y Estrategias de Cambio Climático: El desarrollo y contenido de los Planes, programas y estrategias de cambio climático de los Gobiernos Autónomos Descentralizados se deberá basar sobre los siguientes lineamientos:
1.- Datos generales sobre el Gobierno Autónomo Descentralizado GAD y el Plan de Desarrollo y
Ordenamiento Territorial PDOT;
2.- Identificar las amenazas climáticas y de las fuentes de información;
3.- Identificar las tendencias de los sectores relacionados con emisiones en el territorio del GAD;
4.- Resumir los hallazgos sobre vulnerabilidad de los programas y proyectos del PDOT;
5.- Resumir los hallazgos sobre oportunidades de mitigación en los programas y proyectos del PDOT (Ministerio del Ambiente, 2014, pág. 3).

2.3.5 Reglamento al Código Orgánico Del Ambiente

CAPÍTULO II Adaptación Al Cambio climático

Art. 673.- Sectores priorizados para la adaptación al cambio climático. - Las entidades competentes de los sectores priorizados para la adaptación en la Estrategia Nacional de Cambio Climático, y los diferentes niveles de gobierno, en el ámbito de sus competencias, promoverán el diseño y la elaboración de políticas, planes, programas, proyectos y medidas de adaptación, en los sectores establecidos por la Estrategia Nacional de Cambio Climático (Ministerio del Ambiente (MAE), 2019, pág. 144).
Art. 674.- Medidas de Adaptación. - Se considerarán medidas de adaptación al cambio climático aquellas que reduzcan la vulnerabilidad y riesgo climático. Las medidas de adaptación deberán generarse tomando como base un análisis de riesgo climático actual y futuro, y para su desarrollo se deberán tomar en cuenta los

criterios establecidos en el Código Orgánico del Ambiente, así como otros que determine la Autoridad Ambiental Nacional (Ministerio del Ambiente (MAE), 2019, pág. 144).

CAPÍTULO IV Instrumentos para la gestión del Cambio Climático
Sección 2ª PLAN NACIONAL DE ADAPTACION AL CAMBIO CLIMATICO

Artículo. 684.- Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático. - El Plan Nacional de Adaptación tiene por objeto identificar y disminuir la vulnerabilidad y el riesgo climático actual y futuro de los sectores priorizados en la Estrategia Nacional de Cambio Climático, a través de la integración de la adaptación al cambio climático en la planificación del desarrollo nacional, sectorial y local. El Plan establecerá las medidas y acciones de adaptación y los mecanismos e instrumentos de gestión y coordinación que contribuyan a enfrentar los impactos sociales, económicos y ambientales del cambio climático (Ministerio del Ambiente (MAE), 2019, pág. 146).

3. Materiales y métodos

3.1 Enfoque de la investigación

3.1.1 Tipo de investigación

Investigación documental

Según Tancara (1993) la investigación documental es una serie de métodos y técnicas contenidas en documentos que los trabajadores en información descubrieron y perfeccionaron a lo largo de la historia con el propósito de ofrecer información a la sociedad. Para el presente estudio se utilizará distintas fuentes de investigación como: páginas web de institutos oficiales, instructivos metodológicos, artículos científicos, libros, normas y reglamentos locales. Para sustentar la metodología es necesario las bases teóricas en el cual será aplicada para conocer la variación de precipitación en la ciudad de Quito.

Investigación cuantitativa

La investigación cuantitativa es un proceso de recolección de información en base de los conceptos empíricos medibles con los que se construye las hipótesis conceptuales. Luego se procede a analizar los datos a través de herramientas matemáticas, mostrar los resultados y determinar el grado de significación de las relaciones establecidos entre los datos. Esta investigación tiene mucha relación con el proyecto porque a través de datos obtenidos de la precipitación de otros documentos permite sacar conclusiones sobre el comportamiento temporal de la precipitación en la ciudad de Quito (Bonilla & Sehk, 2005).

3.1.2 Diseño de investigación

El diseño de la investigación es no experimental, ya que no realizó tratamientos del estudio o experimentos. Es un estudio cuantitativo porque sirve para la cuantificación de la información recolectada a través de programas estadísticos y es de tipo

longitudinal porque reúnen datos en dos o más momentos e involucran tendencias, cambios o desarrollos a través del tiempo. Además, es analítico porque por medio de esos datos se puede conocer la variación temporal de la precipitación.

3.2 Metodología

3.2.1 Variables

3.2.1.1 Variable independiente

Precipitación en mm

Temperatura en °C

3.2.1.2 Variable dependiente

Variación de las variables entre 2009 y 2019

3.2.2 Tratamientos

En esta investigación no se realizó ningún tipo de tratamiento porque no se utilizará grupos de control.

3.2.3 Diseño no experimental

El diseño experimental de la investigación consistió en analizar el comportamiento temporal de precipitación entre los años 2009-2019, es decir si existió variación de precipitación entre esos años mediante Hoja Excel en el cual primero se tuvo que sacar los datos estadísticos de precipitación del INAMHI y con el Hoja archivo Excel se pudo sacar la media mensual y anual de las variables para analizar a través de un gráfico si existe alguna variación durante esas fechas. También con los datos de temperatura y precipitación del INAMHI entre 2009 y 2019 se obtuvo un diagrama de dispersión mediante IBM SPSS Statistics donde se analizará el grado de relación entre la precipitación y temperatura.

3.2.4 Recolección de datos

En la presente investigación se procedió a recolectar información bibliográfica

presente en libros, revistas, periódicos, folletos, fotografías y páginas de internet referente a todos los datos de precipitación y temperatura obtenidos del INAMHI presentes en la ciudad de Quito después por medio de una hoja de cálculo Excel de se podrá visualizar los cambios que existen en la precipitación Y temperatura, también se obtuvo el diagrama de dispersión entre la temperatura y precipitación mediante un software estadístico (IBM SPSS Statistics), una vez ya obtenidos los gráficos, se realizó la interpretación y análisis de los resultados más relevantes.

3.2.4.1 Recursos

Los recursos que se utilizaron en el estudio se detallan en la siguiente **Tabla 1**.

Tabla 1. Recursos del proyecto

Recursos	Materiales
Recursos Humanos	Tutor Tesista
Equipos De Oficina	Laptop Impresora Cuestionarios Hojas Esferos
Recursos Bibliográficos	Tesis De Grados, Artículos Científicos Informes Páginas Web

Villamar, 2020

3.2.4.2 Métodos y técnicas

El estudio se realizará en la ciudad de Quito, el cual pertenece a la provincia de Pichincha. Se sitúa en un estrecho valle ocupado por montañas a las faldas del volcán Pichincha, la altitud varía desde los 500 a 4790 m.s.n.m. Las estaciones meteorológicas para trabajar son: la Tola M0002, ubicada en Tumbaco zona nororiental clima ecuatorial mesotérmico seco; Izobamba M0003 ubicada en Cutuglahua zona sur clima ecuatorial mesotérmico semi-húmedo; Iñaquito M0024 ubicada en el centro norte de Quito con un clima ecuatorial mesotérmico húmedo. Los

métodos utilizados son método deductivo y analítico. Deductivo porque nos permitirá a través de los datos obtenidos, con los conocimientos del estudio se planteará la hipótesis del problema y se llegará a una conclusión y analítico porque nos permite analizar el comportamiento de la precipitación de la ciudad de Quito por medio de los datos obtenidos del INAMHI.

La técnica aplicada es la siguiente:

- Las estaciones del INAMHI serán seleccionadas en base a las series a analizar que tengan un periodo de registro menor o igual a 10 años, con un porcentaje menor al 10% de información faltante y que se encuentran en la ciudad de Quito como son las estaciones Estación M0024 (Iñaquito), Estación M002 (La Tola), Estación M003 (Izobamba).
- Con los datos provistos del INAMHI en horas se realizará la base de datos de precipitación media en meses de cada una de las estaciones entre 2009-2019 en Excel. También se aplicará esta misma metodología para los datos de temperatura.
- Se sacarán los datos faltantes por medio de la media aritmética y la razón Q.
- Después se calculará la media anual de precipitación y temperatura de cada una de las estaciones mediante una hoja de cálculo Excel.
- Se graficará la distribución promedio anual y mensual de las variables.
- Se calculará el coeficiente de correlación de Pearson donde se medirá la relación que existe entre la precipitación y la temperatura.
- Se calculará el coeficiente de determinación R2 para determinar el porcentaje de variabilidad de precipitación explicado por la variable temperatura.
- Se graficará el diagrama de dispersión por medio del coeficiente de correlación de Pearson entre la temperatura y precipitación.

- Y por último se realizará la interpretación y análisis de los resultados.

3.2.5 Análisis estadístico

Es análisis descriptivo porque tiene como función el manejo de los datos recopilados con respecto a su ordenación y presentación, para poner en evidencia las características de manera más objetiva, útil y permita ser comprendida por cualquier persona y aparte se pueda establecer comparaciones mediante el empleo de métodos gráficos, tabulares o numéricos (Bonilla & Sehk, 2005).

Para este estudio se utilizarán los datos de precipitación y temperatura, con el software estadístico se podrá analizar la tendencial central, dispersión y correlación lineal por medio de gráficos para sacar conclusiones del comportamiento de precipitación y el grado de dispersión de la precipitación y temperatura entre 2009-2019.

3.2.5.1 Media aritmética

Sampieri & otros (2014) menciona que la media es el promedio aritmético de una distribución. Se simboliza como $\bar{X}$, y es la suma de todos los valores dividida entre el número de casos. Solo es aplicable a mediciones por intervalos o de razón. Carece de sentido para variables medidas en un nivel nominal u ordinal y también resulta sensible a valores extremos.

Su fórmula es la siguiente:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i-1}^{n} x_i}{N}$$

3.2.5.2 Varianza

Es la desviación estándar elevada al cuadrado y se simboliza como s^2. La varianza muestral s^2 es un estimador sin sesgo de la varianza poblacional σ^2, en otras palabras los valores de s^2 tienden a igualar el valor de σ^2, en lugar de tender, de manera sistemática, a sobreestimar σ^2 (Sampieri & otros, 2014).

La fórmula de variación muestral es:

$$\sigma^2 = \frac{\bar{\sum}(x - \bar{x})^2}{N}$$

La fórmula de la variación poblacional es:

$$s^2 = = \frac{\bar{\sum}(x - \bar{x})^2}{n - 1}$$

3.2.5.3 Covarianza

Es un valor que muestra el grado de correlación entre dos variables en relación con sus promedios. Si el valor grande de x está relacionado con el valor grande de Y, los datos tienen una tendencia lineal con una pendiente positiva. Si el valor pequeño de X está relacionado con el valor pequeño de Y, entonces es un signo positivo de covarianza. Si el valor grande de X está asociado con el valor pequeño de Y, hay una tendencia lineal de pendiente negativa, entonces es una covarianza de signo positivo, si el valor pequeño de X está asociado con el valor grande de Y, es una covarianza negativa(Ojeda, 2007).

$$Cov(X, Y) = \frac{\sum_1^n (x_i - \bar{x})(Y_i - \bar{Y})}{n}$$

3.2.5.4 Coeficiente de correlación de Pearson

Se trata de una prueba estadística que se utiliza para analizar la relación entre dos variables medidas a nivel de intervalo o razón. Se calcula en base a las puntuaciones obtenidas en una muestra en dos variables. En el caso de los mismos participantes o casos, las puntuaciones recolectadas de una variable están relacionados con las puntuaciones obtenidos de otra variable. Los valores pueden oscilar de −1.00 a +1.00, donde: −1.00 = correlación negativa perfecta. (“A mayor X, menor Y”, de manera proporcional. ("Cuanto mayor es la X, menor es la Y" es proporcional. En otras palabras, cada vez que X aumenta en una unidad, Y siempre disminuye en una cantidad fija). Esto también se aplica a "cuanto menor es X, mayor es Y" (Ojeda, 2007).

$$r_{xy} = \frac{\mathrm{n}\sum \mathrm{X} * \mathrm{Y} - (\sum \mathrm{X})(\sum \mathrm{Y})}{\sqrt{[\mathrm{n}\sum X^2 - (\sum X)^2][\mathrm{n}\sum Y^2 - (\sum Y)^2]}}$$

3.2.5.6 Análisis de regresión

Es el estudio la relación entre dos variables cuantitativas: variables independientes o variables regresoras y variable dependiente o variable de respuesta. Su finalidad es estudiar la fuerza de la asociación, a través de una medida de asociación llamada coeficiente de correlación de Pearson. Después utilizando los datos se propone un modelo de regresión para la relación y a partir de un valor de X el modelo predice un cierto valor para Y. De acuerdo a la formula a es la pendiente de la recta, mide el cambio en Y por cada unidad de cambio en X y b es la ordenada al origen, el punto donde la recta se cruza con el eje Y, en otras palabras, el valor de Y cuando X = 0 (Orellana, 2008).

$$\mathrm{Y} = \mathrm{a} + \mathrm{b}\,\mathrm{X}$$

3.2.5.6.1 Coeficiente de determinación R2

Según Orellana (2008) es el coeficiente r de Pearson elevado al cuadrado (r^2), se obtiene el coeficiente de determinación y el resultado indica la varianza de los factores comunes. El coeficiente de determinación es el porcentaje de la variabilidad total en la variable Y puede ser explicada por la variable regresora X, por lo que es una medida de la capacidad de predicción del modelo de regresión.

$$R^2 = \frac{\left(\frac{\sum x_i Y_i}{n} - \bar{x}\bar{Y}\right)^2}{\left(\frac{\sum {x_i}^2}{n} - \bar{x}^2\right)\left(\frac{\sum {Y_i}^2}{n} - \bar{Y}^2\right)}$$

4. Resultados

4.1 Análisis del comportamiento de las variables mediante software y cálculos estadísticos de tendencia central en el período de estudio establecido.

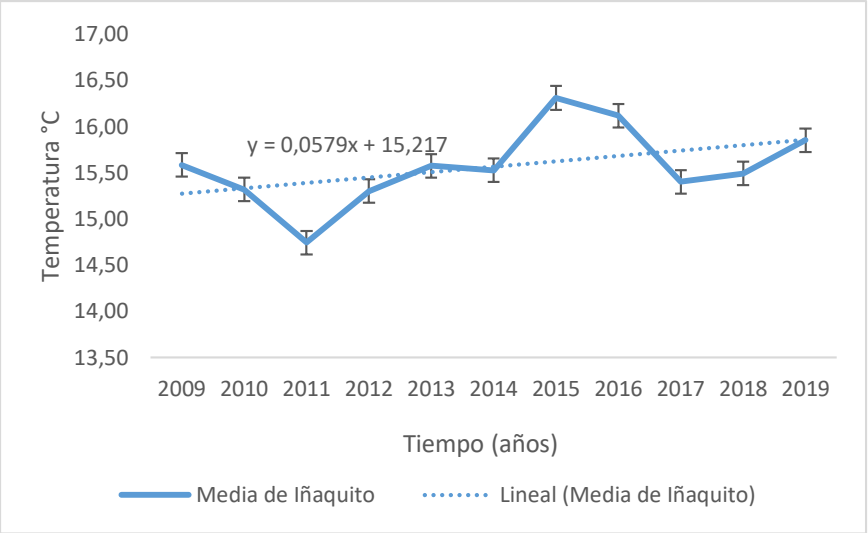

Figura 1. Comportamiento de temperatura promedio anual de la estación Iñaquito del INAMHI entre los años 2009-2019

En la Figura 1 se puede observar los valores de temperatura a lo largo del tiempo entre los años 2009-2019 de la estación Iñaquito. Para la temperatura máximo promedio anual se dio en el año 2015 y fue el año donde se registró el mayor grado de temperatura con 16.3°C siguiéndole el año 2016 con 16.2°C y el año 2019 con 15.85°C mientras que para la temperatura mínimo promedio anual fue el año 2011 con 14.74°C. También se puede observar en la figura de la estación Iñaquito, una tendencia de temperatura a aumentar a lo largo del tiempo manteniendo un bajo error estadístico por lo que los datos obtenidos son significativos.

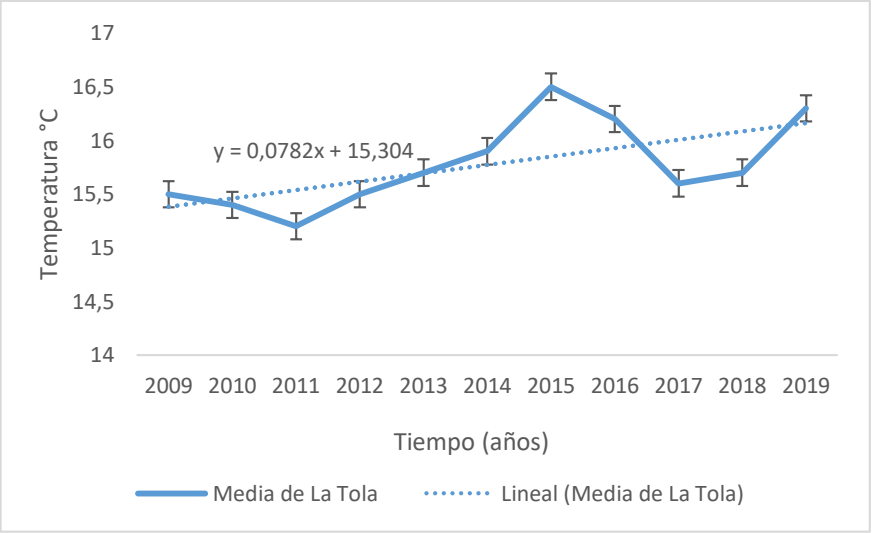

Figura 2. Comportamiento de temperatura promedio anual de la estación La Tola del INAMHI entre los años 2009-2019

Como se puede observar en la Figura 2 se encuentra el comportamiento de temperatura promedio anual entre los años 2009-2019 de la estación La Tola. Para la temperatura promedio máximo anual se dio en el año 2015 y fue el año donde se registró el mayor grado de temperatura con 16.5°C siguiéndole el año 2019 con 16.3°C y el año 2016 con 16.2°C mientras que para la temperatura promedio mínimo anual fue el año 2011 con 15.2°C. También se puede observar en la figura de la estación La Tola, una tendencia considerable a aumentar a lo largo del periodo establecido.

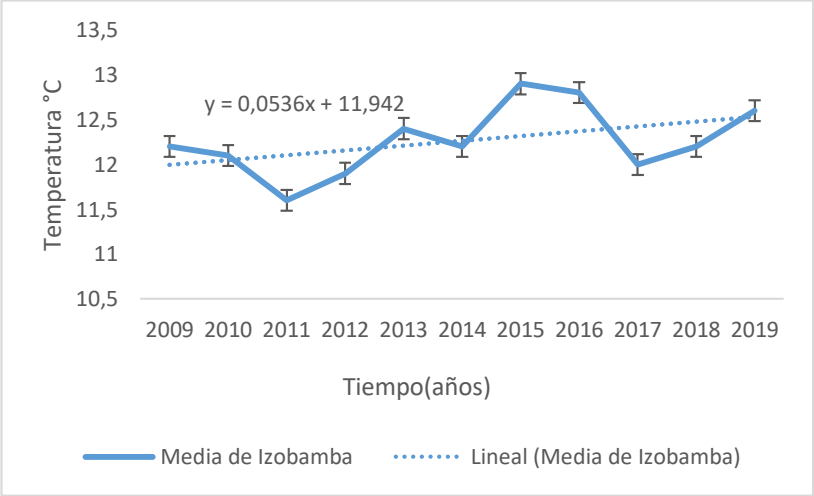

Figura 3. Comportamiento de temperatura promedio anual de la estación Izobamba del INAMHI entre los años 2009-2019

De acuerdo a los resultados de la Figura 3 se puede visualizar los valores de temperatura a lo largo del tiempo entre los años 2009-2019 de la estación Izobamba.

Para la temperatura promedio máximo anual se dio en el año 2015 y fue el año donde se registró el mayor grado de temperatura con 12.9°C siguiéndole el año 2016 con 12.8°C y el año 2019 con 12.6°C mientras que para la temperatura promedio mínimo anual fue el año 2011 con 11.6°C.

También se puede observar que en la figura de la estación Iñaquito muestra una tendencia considerable a aumentar por los valores obtenidos del INAMHI. Existe menor grado de temperatura que en las otras estaciones porque la estación Izobamba se encuentra en la zona sur donde hay mayor altitud comparado con las otras 2 estaciones que se encuentran en la zona norte del cantón.

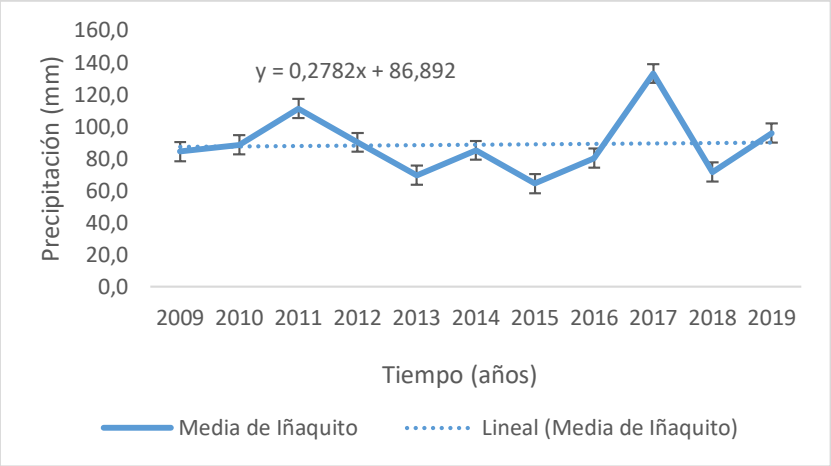

Figura 4. Comportamiento de precipitación promedio anual de la estación Iñaquito del INAMHI entre los años 2009-2019

Como se puede apreciar en la Figura 4 se encuentra el comportamiento de precipitación promedio anual entre los años 2009-2019 de la estación Iñaquito. Las precipitaciones anuales en el cantón, siguen una tendencia ligeramente ascendente, en el año 2017 fue donde se registró la mayor cantidad de precipitaciones con un total de 133.1 mm siguiéndole el año 2011 con 111.2 mm, el año 2019 con 95.85 mm y el 2012 con un total de 90.1 mm, mientras que el 2015 con 64.4 mm fue el año con menor

precipitación comparado con los otros años, debido a que se encuentra en la columna más baja.

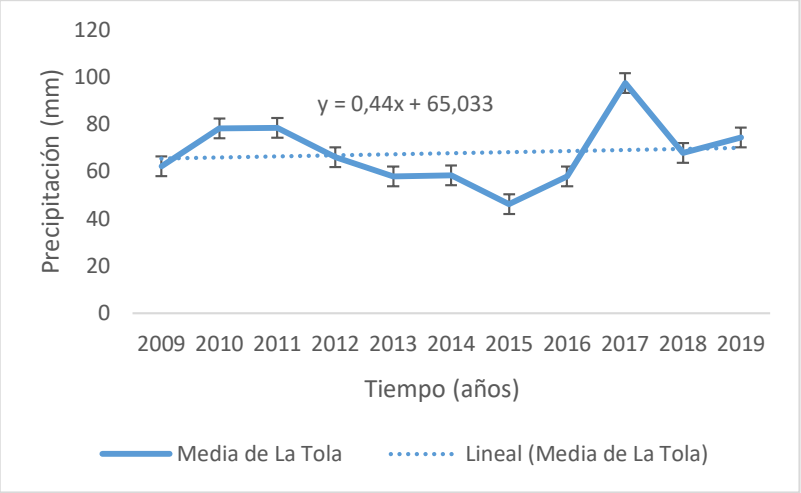

Figura 5. Comportamiento de precipitación promedio anual de la estación La Tola del INAMHI entre los años 2009-2019

De acuerdo a la Figura 5 se muestra la variación de precipitación promedio anual entre los años 2009-2019 de la estación La Tola. Las precipitaciones anuales en el cantón, siguen una tendencia ligeramente ascendente, en el año 2017 fue donde se registró la mayor cantidad de precipitaciones con un total de 97.3 mm siguiéndole el año 2011 con 78.4 mm, el año 2010 con 78.1 mm y el 2019 con un total de 74.3 mm, mientras que el 2015 con 46.2 mm fue el año con menor precipitación o menos lluvioso comparado con los otros años.

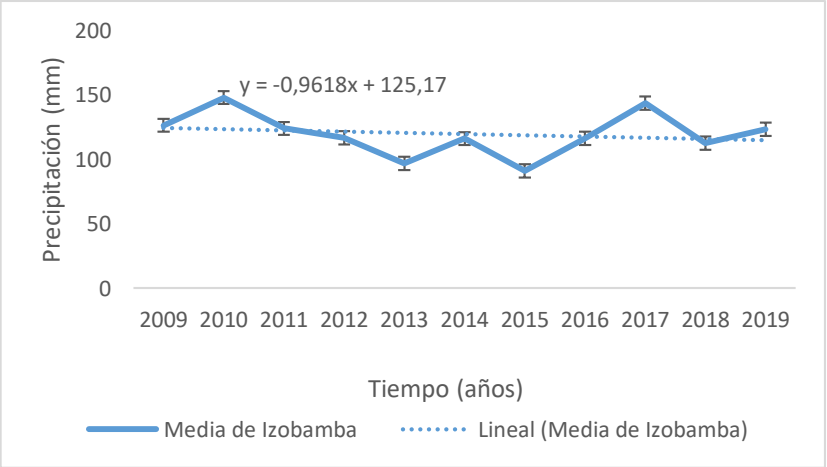

Figura 6. Comportamiento de precipitación promedio anual de la estación Izobamba del INAMHI entre los años 2009-2019

En la Figura 6 se muestra la variación de precipitación promedio anual entre los años 2009-2019 de la estación La Izobamba. Las precipitaciones anuales en el cantón, siguen una tendencia ligeramente descendente, en el año 2010 fue donde se registró la mayor cantidad de precipitaciones con un total de 147.86 mm siguiéndole el año 2017 con 143.55 mm, el año 2009 con 126.35 mm y el 2011 con un total de 123.98 mm, mientras que el 2015 con 90.9 mm fue el año con menor precipitación o menos lluvioso comparado con los otros años.

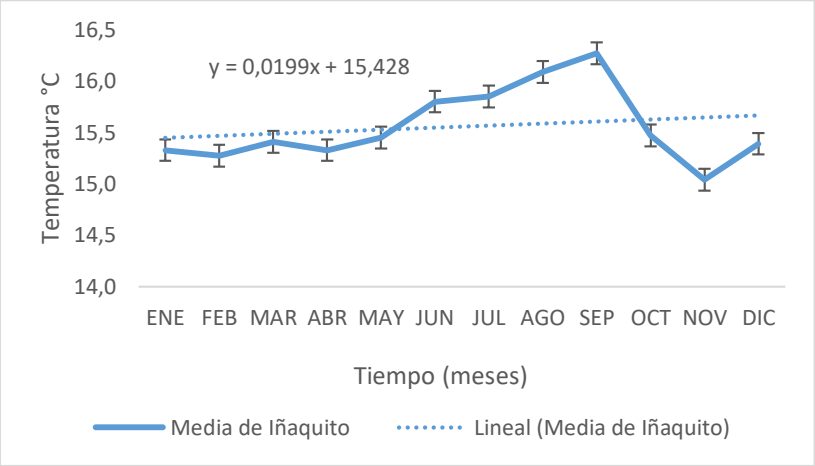

Figura 7. Comportamiento de temperatura promedio mensual de la estación Iñaquito del INAMHI entre los años 2009-2019

En la Figura 7 se muestra el comportamiento de temperatura promedio mensual entre los años 2009-2019 de la estación Iñaquito. Esta estación presenta una tendencia a aumentar, el pico más alto de temperatura se ubica en el mes Septiembre con 16.3°C, seguido por el mes de agosto con 16.1°C. En cambio, para el valor de menor precipitación de la estación se dio en el mes de noviembre, registrando una temperatura promedio mínima mensual de 15°C.

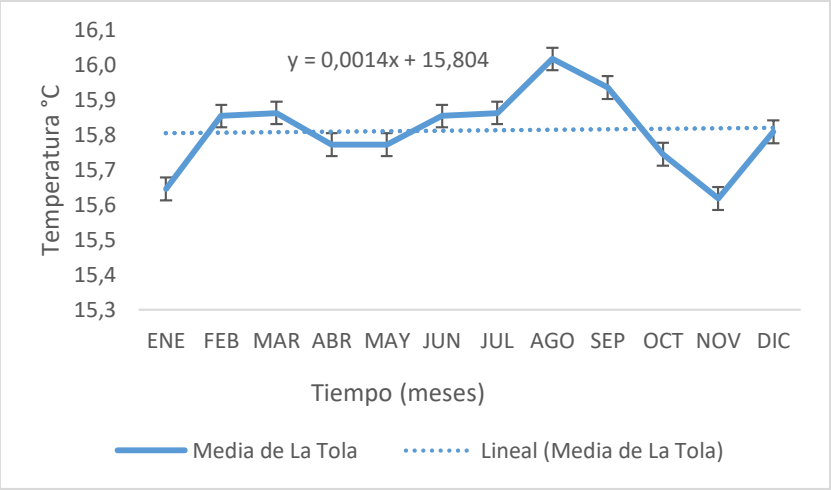

Figura 8. Comportamiento de temperatura promedio mensual de la estación La Tola del INAMHI entre los años 2009-2019

De acuerdo a los resultados de la Figura 8 se puede visualizar el comportamiento de temperatura promedio mensual entre los años 2009-2019 de la estación La Tola. La estación presenta una ligera tendencia a aumentar, el pico más alto de temperatura se ubica en el mes agosto con 16°C, seguido por el mes de septiembre con 15.9°C. En cambio, para el valor de menor precipitación de la estación se dio en los meses de noviembre y enero, registrando una temperatura promedio mínima mensual de 15.6°C.

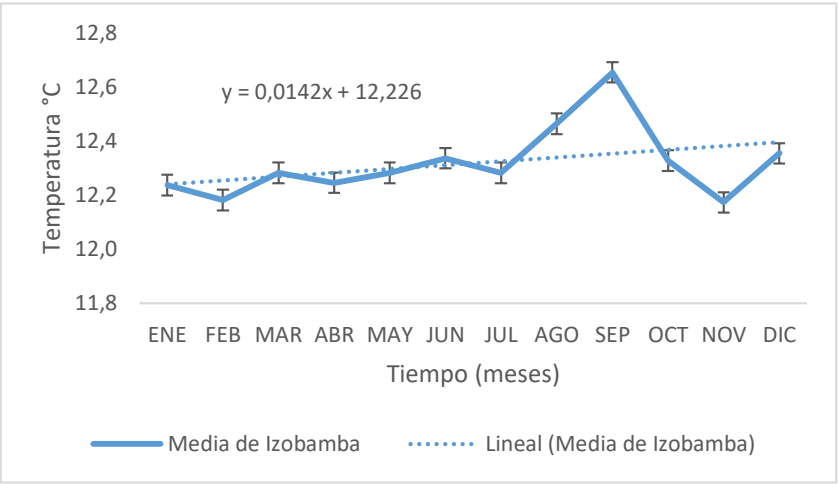

Figura 9. Comportamiento de temperatura promedio mensual de la estación Izobamba del INAMHI entre los años 2009-2019

Como se puede apreciar en la Figura 9 se encuentra la temperatura promedio

mensual entre los años 2009-2019 de la estación Izobamba. Esta estación presenta una considerable tendencia a aumentar, el pico más alto de temperatura se ubica en el mes septiembre con 12.7°C, seguido por el mes de agosto con 12.5°C. En cambio, para el valor de menor precipitación de la estación se dio en los meses de noviembre, enero, febrero y abril registrando una temperatura promedio mínima mensual de 12.2°C.

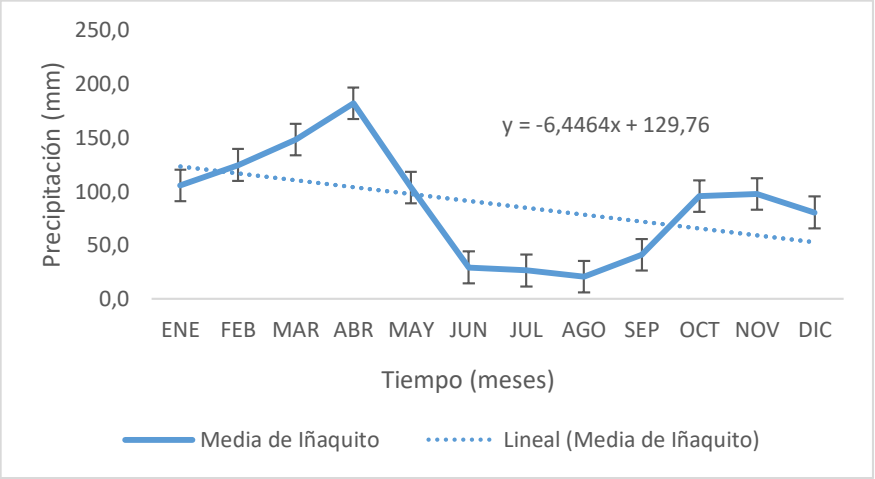

Figura 10. Comportamiento de precipitación promedio mensual de la estación Iñaquito del INAMHI entre los años 2009-2019

En la Figura 10 se muestra la variación de precipitación promedio mensual entre los años 2009-2019 de la estación Iñaquito. Las precipitaciones promedias mensuales en el cantón presentan una considerable tendencia descendente, los valores de precipitación máxima se encuentran en el mes de abril con 182.1 mm, seguido por el mes de marzo con 148.2 mm y el mes de febrero con 124.6 mm., en cambio, para el valor de menor precipitación de la estación se dio en el mes de agosto registrando una precipitación promedio mínima mensual de 20.6 mm.

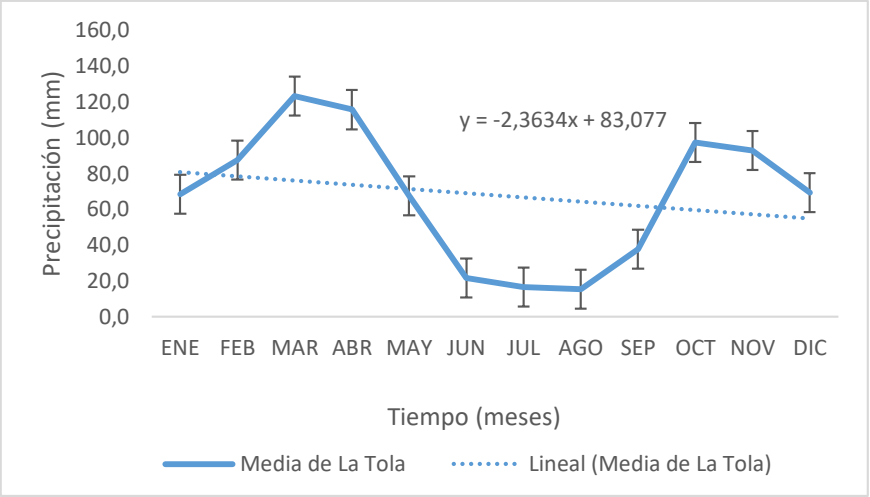

Figura 11. Comportamiento de precipitación promedio mensual de la estación La Tola del INAMHI entre los años 2009-2019

En la Figura 11 se muestra el comportamiento de precipitación promedio mensual entre los años 2009-2019 de la estación La Tola. La estación presenta una considerable tendencia descendente, los valores de precipitación máxima se encuentran en el mes de marzo con 123.4 mm, seguido por el mes de abril con 115.4mm y el mes de octubre con 97.2 mm. En cambio, para el valor de menor precipitación de la estación se dio en el mes de agosto registrando una precipitación promedio mínima mensual de 15.3 mm.

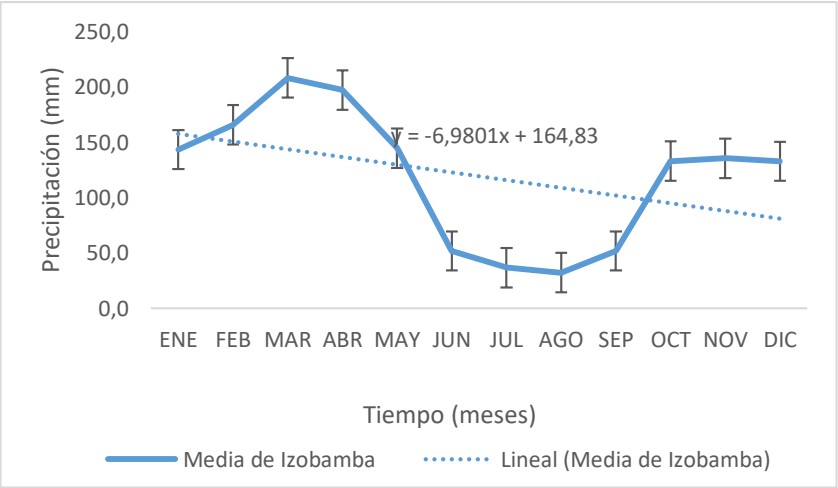

Figura 12. Comportamiento de precipitación promedio mensual de la estación Izobamba del INAMHI entre los años 2009-2019

Como se puede apreciar en la Figura 12 se encuentra la variación de precipitación promedio mensual entre los años 2009-2019 de la estación Izobamba. Las precipitaciones promedias mensuales en el cantón presentan una considerable tendencia descendente, los valores de precipitación máxima se encuentran en el mes de marzo con 208.2 mm, seguido por el mes de abril con 197.3 mm y el mes de febrero con 165.8 mm. En cambio, para el valor de menor precipitación de la estación se dio en el mes de agosto registrando una precipitación promedio mínima mensual de 32.3 mm.

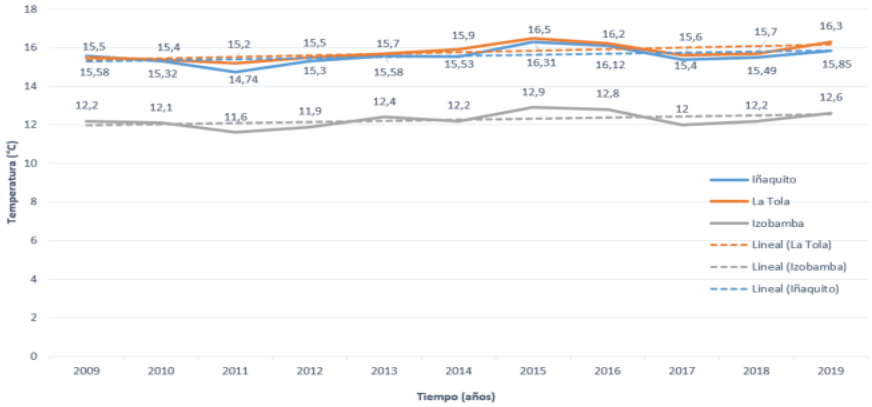

Figura 13 Comportamiento de temperatura promedio anual de las tres estaciones entre los años 2009-2019

En la Figura 13 se muestra el comportamiento de las temperaturas promedio anuales de las tres estaciones de la ciudad de Quito, las tres estaciones tienden a una tendencia a aumentar, en donde la estación La Tola es el que presenta un mayor incremento de tendencia (0.08°C/año) comparado con las otras 2 estaciones.

También, es destacable observar que en los años 2011 y 2017 de las 3 estaciones es donde hubo una disminución de la temperatura siendo la estación Izobamba con valores de 12.8°C y 12°C el que presenta menores valores de temperatura comparado con las otras estaciones. Esto se produce principalmente por la presencia de nubosidad y fuertes lluvias en dichos periodos, además que se lo puede constatar en

las gráficas de las precipitaciones, en donde hubo un incremento notable de las lluvias.

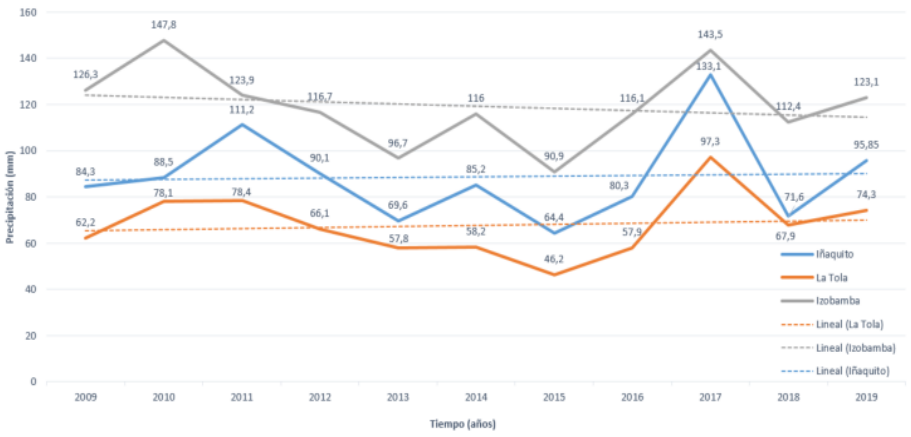

Figura 14 Comportamiento de precipitación promedio anual de las tres estaciones entre los años 2009-2019

Como se puede observar en la Figura 14 las precipitaciones anuales en el cantón de las tres estaciones siguen una tendencia ligeramente ascendente, pero con diferencias, ya que mientras que, en las estaciones de Iñaquito y La Tola, esta tendencia es apreciable, en cambio en Izobamba, se observa una tendencia descendente (1 mm/año). Estas diferencias obedecen a la amplitud del periodo de datos. Y en la estación Izobamba presenta los mayores valores de precipitación comparado con las otras 2 estaciones en donde el año 2010 y 2017 obtuvieron valores de 147,8 y 143,5 mm y el de menor precipitación fue en la estación La Tola del año 2015 con 46,2 mm.

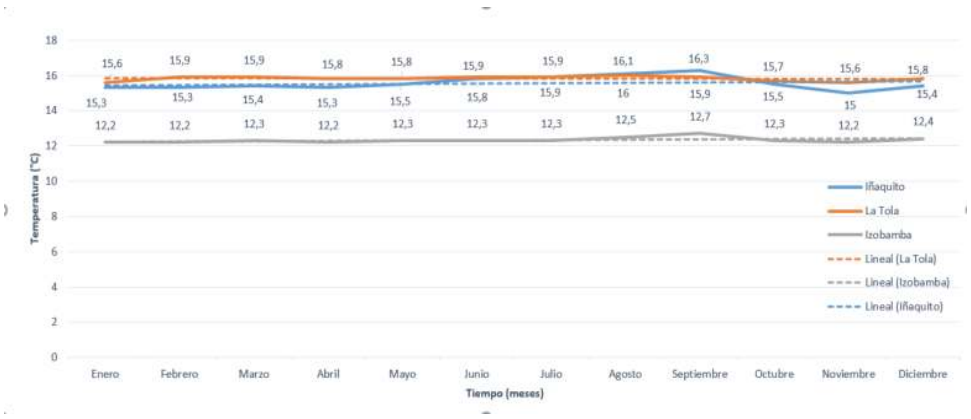

Figura 15 Comportamiento de temperatura promedio anual de las tres estaciones entre los años 2009-2019

En la Figura 15 las temperaturas promedios mensuales en el cantón de Quito de las tres estaciones presentan una tendencia considerable a aumentar, la estación Izobamba es donde presenta un mayor incremento de tendencia comprado con las otras 2 estaciones. Para la temperatura promedio máxima mensual del cantón se dio en el mes de septiembre registrándose la temperatura promedio máxima mensual de 16.3˚C en la estación Iñaquito. Y para temperatura promedio mínima mensual del cantón se dio en el mes de noviembre, registrando una temperatura promedio mínima mensual de 12.2 ˚C en la estación Izobamba.

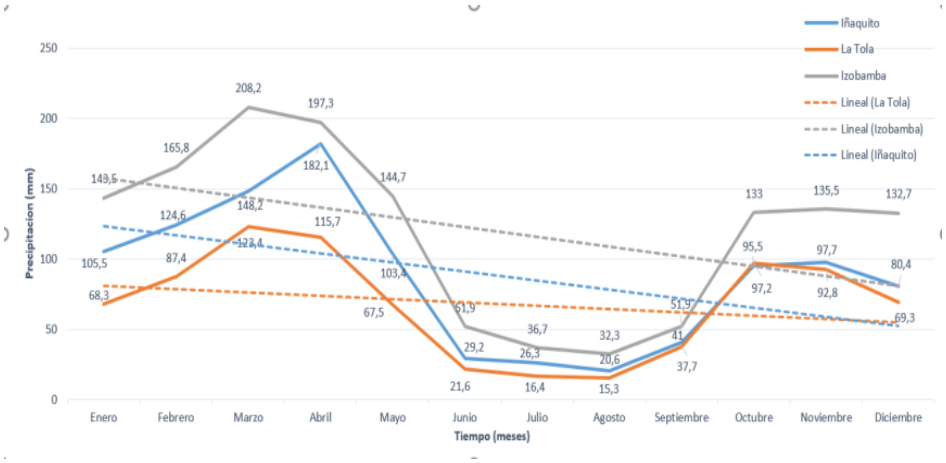

Figura 16 Comportamiento de precipitación promedio mensual de las tres estaciones entre los años 2009-2019

En la Figura 16 las precipitaciones promedios mensuales en el cantón de Quito de las tres estaciones siguen una tendencia descendente. También se puede observar curvas bimodales en donde las estaciones La Tola y Izobamba tienen como máximo periodo de lluvia el mes de marzo con valores de 123.4mm y 208.2 mm y el mes de octubre con valores de 97.2 mm y 133 mm como un segundo periodo lluvioso secundario. En cambio, la estación Iñaquito presenta un máximo periodo de lluvia el mes de abril con un valor de 182.1 mm y el mes de octubre con un valor de 95.5 mm como un segundo periodo lluvioso secundario.

4.2 Determinación de la correlación y regresión lineal entre las variables de precipitación y temperatura mediante el uso de software estadístico entre los años 2009-2019.

Tabla 2. Determinación del coeficiente de correlación y determinación de la variable precipitación y temperatura de las tres estaciones de la ciudad de Quito

Resumen del modelo

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	,795[a]	,632	,620	16,76048

Predictores: (Constante), Temperatura promedio anual de Quito
Villamar, 2021

De acuerdo a los resultados de la Tabla 2 se puede visualizar los valores de los coeficientes de correlación (r) y determinación (r^2) entre la temperatura y precipitación de las tres estaciones en el período establecido 2009-2019. El valor obtenido del coeficiente de correlación de Pearson es de 0,795, por lo tanto, existe una correlación inversa significativa en otras palabras cuando aumenta la variable precipitación la otra disminuye y viceversa. En concordancia con lo anterior se puede deducir que los datos de precipitación de las 3 estaciones para el cantón Quito se ajustan perfectamente a los datos de temperatura de las estaciones.

En el caso de del coeficiente de determinación se obtuvo un valor de 0,632, esto quiere decir el 63% de la variabilidad de la precipitación se explica mediante las variaciones de la temperatura, este resultado también significa que el 37% de la varianza de la precipitación no es explicado por la temperatura.

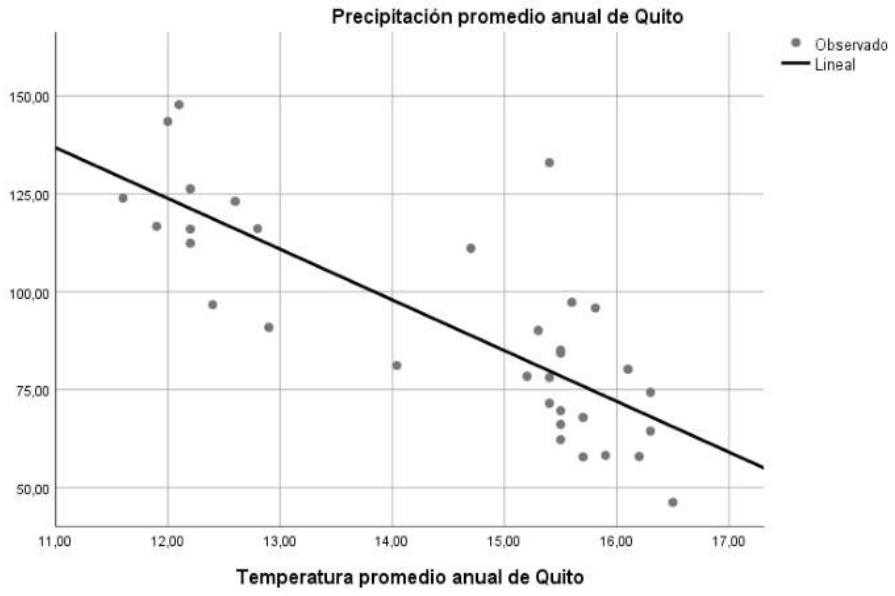

Figura 17. Grafica de dispersión entre la temperatura y precipitación

En la Figura 17 se muestra el gráfico de dispersión entre la temperatura y precipitación entre los años 2009-2019 de las tres estaciones. En esta figura se observa que hay una pendiente negativa y una relación inversa significativa, de acuerdo a la recta lineal entre la temperatura y precipitación promedio anual de la ciudad de Quito. También se puede detallar el mayor grado de relación en la recta lineal son dentro de los valores de temperatura superiores a 15°C e inferiores a 16.5°C y los valores de precipitaciones superiores a 50 mm e inferiores a 100mm con alguna excepción que se encuentra disperso.

Tabla 3. Regresión lineal de las variables

Coeficientes

Modelo		Coeficientes no estandarizados B	Desv. Error	Coeficientes estandarizados Beta	T	Sig.
1	(Constante)	279,423	25,893		10,791	,000
	Temperatura promedio anual de Quito	-12,965	1,776	-,795	-7,299	,000

Variable dependiente: Precipitación promedio anual de Quito
Villamar, 2021

y= 279.423 – 12.965x

x: Temperatura promedio anual

y: Precipitación promedio anual

De acuerdo a la Tabla 3 se muestra los valores de los coeficientes no estandarizados, para obtener la ecuación de regresión lineal entre la temperatura y precipitación entre los años 2009-2019 de las tres estaciones. En la ecuación de la recta lineal, se representa en el eje “X” la temperatura promedio anual y en el eje “Y” la precipitación promedio anual, en esta ecuación se describe que por cada °C de temperatura promedio anual del cantón, disminuye en 12,97 mm la precipitación, además se obtuvo un valor de significancia menor a 0,05, por lo que el modelo tiene importancia estadística.

4.3 Medidas de mitigación ante los riesgos de inundación en la ciudad de Quito.

En base a los resultados obtenidos en el proyecto de investigación, se pudo plantear medidas de mitigación ante los riesgos de inundación en el cantón de Quito específicamente en la estación Izobamba de la parroquia Cutuglagua, en el cual se concluye acorde con Tabla 6 que es la zona donde es más frecuente torrencial de lluvia al año. También en la estación Iñaquito ubicada en el centro norte de Quito existen torrencial de lluvias, pero es más frecuente la intensidad de precipitación muy fuerte al año. Y por último en la estación La Tola ubicada en la parroquia Tumbaco es frecuente precipitación con intensidad fuerte y muy fuerte al año.

4.3.1 Medidas previas al evento de inundaciones

Según el Departamento de Desarrollo Regional y Medio Ambiente Secretaría Ejecutiva para Asuntos Económicos y Sociales Organización de los Estados Americanos (1991) existen dos medidas para la mitigación ante inundación, una de ellas son las medidas estructurales que engloban las construcciones que reducen o

evitan el posible impacto de la inundación. Y la otra son las medidas no estructurales que tienen como objetivo identificar las zonas propensas a desastres y en limitar su uso. Una de las diferencias principales es que las medidas no estructurales pueden ciertamente implicar algunos costos de capital y/o operacionales, pero éstos son generalmente menores a los de las medidas estructurales (pág. 5).

En el trabajo de investigación algunas de las medidas no estructurales ante el evento de inundación para la población son las siguientes:

- Evitar los lugares comúnmente sujetos a avenidas de agua o a inundaciones repentinas y no construir en terrenos susceptibles de ser afectados por inundación.
- En caso de que la población vive en áreas donde ya han ocurrido inundaciones establecer las rutas de salida más rápidas desde su domicilio o área de trabajo hacia los lugares con gran altura que se hayan previsto como refugios.
- En épocas de inundación es importante estar pendiente de las señales de aviso, alarma y emergencia y manténgase informado. Esto lo ayudará a prepararse ante cualquier situación.
- Elaboración de una guía ilustrativa de acciones a seguir en caso de inundación.
- Capacitaciones al personal del GAD parroquial sobre gestión de riesgos y primeros auxilios.
- Realizar simulacros con la población.

En cambio, para las medidas estructurales el déficit y colapso del sistema de alcantarillado es una vulnerabilidad en el cual es necesario construir, renovar o aumentar la cobertura los sistemas de alcantarillado que sean fiables y eficientes en áreas potencialmente vulnerables del cantón en donde permita minimizar los impactos de escorrentía generado. También es necesario construir estructuras de protección

como la reforestación en áreas urbanas que modifican las características topográficas de la ciudad de pendientes altas con el objetivo de interceptar la precipitación y reducir el flujo de agua.

4.3.2 Medidas durante y después de la ocurrencia de inundaciones

El Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias (2015) describe que se deberá tener en consideración las siguientes medidas y acciones de respuesta que aseguren el bienestar de la población, ambiental y económico del cantón de Quito ante la ocurrencia de inundaciones:

- Mantener la calma es una de las sugerencias principales durante y después de la ocurrencia de inundación.
- Se debe seguir las indicaciones de las autoridades y prepárese para evacuar en caso necesario.
- Estar atento a las indicaciones que se dan por radio y/o televisión.
- No acercarse a cables ni postes de luz.
- Evacuación de los habitantes hacia los puntos seguros establecidos como albergues temporales
- Escuchar la radio o ver la televisión para obtener información sobre la emergencia, y posibles instrucciones de las autoridades.
- No regresar a la casa hasta que las autoridades indiquen que lo puede hacer.
- No acercarse a construcciones que es posible se derrumben.
- Limpiar sustancias como medicamentos, y gasolina.
- No tomar alimentos ni comida que haya sido mojada por el agua de la inundación.
- Disponer de kits de emergencias para los sitios de albergue y de alimentos no perecibles

- Verificación del estado de salud de los afectados
- No movilizar los heridos, es mejor avisar a las personas especializadas para este tipo de ayuda.
- Realizar un informe de daños preliminar mediante el uso de tecnología espacial como drones y recorridos.
- Coordinación de obras civiles con las entidades competentes para la recuperación de infraestructuras.
- Implementar brigadas de fumigación para evitar la proliferación de vectores

5. Discusión

Los estudios realizados por Limaico (2019) indican que la precipitación promedio multianual en la estación La Tola registrada en el período 1981 - 2017 (36 años) fue de 70.73 mm, siendo el rango de variación entre 0.0 mm y 267.8 mm, en cambio la Temperatura mínima mensual multianual de la estación no superan los 12.4°C. Con base de estos datos se puede describir que existe una disminución considerable de precipitación en el periodo 2009-2019 de la estación La Tola con un valor máximo de precipitación de 97.31 mm en el año 2017.

En cambio, la estación Izobamba obtuvo el mayor valor de precipitación con 147.8 mm en el año 2010 esto es debido altitud en la zona, también la estación Iñaquito por tener pendientes bajas por lo que la amenaza por inundaciones es alta, esto quiere decir que son susceptibles ampliamente a inundaciones especialmente en la Comuna Santa Clara de Milan, parque La Calorina entre otras. También la temperatura promedio multianual de La Tola no es mayor a 16.5°C y se lo puede considerar como el valor más alto entre las estaciones Iñaquito y Izobamba.

Serrano (2012) explica que el comportamiento de las estaciones no contradice los posibles efectos del cambio climático, en los cuales se menciona que los comportamientos graduales de la precipitación pueden incrementarse como disminuir, pero que debe evidenciarse un aumento de eventos extremos como en el año 2017 donde más casos de inundaciones existen debido a los valores que presentaron.

En cuanto al trabajo investigativo de Bastidas (2016) tiene como objetivo describir la variacion mensual de la precipitacion en las estaciones La Tola Iñaquito y Izobamba de la ciudad de Quito entre 1981-2010. En las 3 estaciones reporta una bimodalidad de precipitación teniendo como máximo periodo de lluvia el mes de abril y el mes de octubre como un segundo periodo lluvioso secundario por lo que coincide con el

presente proyecto de investigación puesto que, las estaciones Iñaquito y Izobamba entre los años 2009-2019 tienen la misma bimodalidad en esos meses excepto la estación La Tola porque en el primer pico no fue en el mes de abril sino en el mes de marzo. Esta bimodalidad es debida a la zona de convergencia intertropical que pasa dos veces por el Ecuador

El máximo de precipitación de las tres estaciones registrado no supera los 350 mm/mes siendo la estación Izobamba el de mayor valor de precipitación registrado y la estación La Tola obtuvo el mínimo de precipitación dentro de las 3 estaciones con 280 mm/mes. Los valores registrados del autor no coinciden con los valores del proyecto siendo la estación Izobamba el que registra el maximo de precipitación con 208.2 mm/mes y el mínimo es en la estación La Tola con 123.4 mm/mes, esto quiere decir que existe una variación en los valores de precipitaciones en los últimos años en la ciudad de Quito.

De acuerdo al trabajo investigativo del autor Bastidas (2016) sobre el análisis del comportamiento de la temperatura promedio mensual de la estación La Tola hasta el año 2010 el rango de variación es entre los 14 y 17 °C. En la estación Iñaquito reporta un rango de variación entre los 13 y 17 °C. y Izobamba el rango es entre los 10 y 13.5 °C. Los meses más fríos de las 3 estaciones son enero, febrero, marzo, julio, agosto y los meses más cálidos abril, mayo, junio, septiembre, octubre, noviembre, diciembre. En cambio, en el trabajo de investigación el mes de agosto de la estación La Tola fue el más cálido, en Iñaquito y Izobamba la temperatura máxima promedio mensual fue en septiembre y también se mantuvo el mes de noviembre con el valor de menor temperatura.

Esto se puede asegurar por los datos tomados del INAMHI existe una variación en el clima en los últimos años debido al incremento del rango de comportamiento

temperatura mínimo promedio mensual y disminución de la temperatura máxima promedio mensual.

Rivas (2014) en su trabajo de investigación sobre el análisis de correlación de Pearson se tomaron los datos de precipitación del satélite TRMM 3B43 y los datos pluviométricos de las estaciones para conocer si se ajustan perfectamente las 2 variables para la cuenca del rio Bogotá. Casi todos los valores de la correlación superaron el umbral de 0.7 esto quiere decir que tienen una relación proporcional en donde el coeficiente más alto fue en la estación Villapinzon GJA con 0.98 dado el pixel 6, por otro lado, la estación Casita obtuvo el registro más bajo con 0.64. En cambio, en el proyecto de investigacion la correlacion de Pearson entre la variable temperatura y precipitación fue inversamente proporcional con 0.8, este resultado tiene mucha logica porque entre menor es la temperatura mayor es la humedad relativa y posteriormente se puede realizar el proceso de condensación y formacion de la nubes para la precipitación.

Según el propósito de la investigación de Herrera (2017) fue completar los datos faltantes en los registros de precipitación pluvial de 13 estaciones meteorológicas en el periodo 1948-2012 distribuidas en la zona de la Cuenca Guadalupe por medio del análisis de la regresión lineal entre las 13 estaciones cercanas y la conveniencia de la inferencia estadística. En el caso del coeficiente de determinación promedio es de 0.80 con una fuerte correlación positiva entre las variables y por medio de la ecuación de la recta lineal se pudo determinar esos datos faltantes. En el estudio se aplicó la misma metodología en donde él % del coeficiente de determinación es aceptable de los valores de precipitación en relación a la temperatura. Y en la ecuación de la recta por cada °C de temperatura promedio anual existe una disminución de la precipitación.

De acuerdo al trabajo investigativo de Carrizo et al. (2018) que tiene como objetivo plantear interrogantes sobre los límites de la gestión del riesgo de inundaciones de una de las inundaciones más severas de los últimos años en la zona de estudio, ocurrida en 2015 fue considerado el año de mayor inundación en la provincia de Córdova, Argentina. Los autores concluyeron que, para una correcta prevención y respuesta efectiva, el plan debe implementarse con un modelo de adaptación adaptado al área de estudio, y el estado debe intervenir en él para implementar el plan. De acuerdo con las recomendaciones de mitigación en este estudio, se ha ajustado de acuerdo con las necesidades más importantes y básicas del cantón en cuestión, así como las medidas de prevención, emergencia y mitigación.

La Junta de Andalucía (2017) realizó un estudio sobre la prevención y gestión de riesgos en caso de inundación implica la necesidad de desarrollar diferentes planes de acción. Algunas medidas destinadas a tomar medidas preventivas y de protección directas, como proyectos de corrección y contención, y otros proyectos destinados a implementar las medidas planificadas antes de que finalmente ocurra la emergencia. También hay aspectos importantes a considerar, como la conciencia de las amenazas y vulnerabilidades, la importancia de formar un comité de emergencia y los planes de prevención y mitigación. Sin embargo, para poder implementar estos planes se deben recaudar fondos del estado, lo cual se ha convertido en una restricción a realizar, pero sin duda es muy necesario para mantener la integridad de los pobladores del cantón.

6. Conclusiones

De acuerdo a los resultados obtenidos, se pone en evidencia que existe un ligero incremento de precipitación anual en las estaciones La Tola e Iñaquito, en cambio en Izobamba hay una tendencia decreciente con 1 mm/año, esto puede ser debido a las islas de calor que existe en las parroquias y barrios como Solanda que se encuentra ubicado dentro de la estación Izobamba que disminuyen los patrones de inundación y aumenta los eventos extremos de precipitación como lo fue en el año 2017. En lo que respecta a la variable temperatura ha tenido un ligero cambio en el pasar del tiempo.

La precipitación y temperatura también han tenido una variabilidad considerable, mientras que en 2017 la precipitación fue alta y la temperatura baja, en 2015 fue donde hubo menor precipitación y mayor temperatura, lo que demuestra que hay una fluctuación o variabilidad climática que ha hecho un peligro infame a la zona, por lo que depende mucho de la estabilidad del clima. En las estaciones de Iñaquito e Izobamba entre 2009-2019 la precipitación promedio mensual tienen una bimodalidad similar en esos meses, aparte de la estación de La Tola, ya que el pico principal no fue en abril sino en el mes de marzo. Esta bimodalidad se da debido a la zona de convergencia intertropical que atraviesa dos veces el Ecuador.

En lo que respecta a la correlación de Pearson de las variables temperatura y precipitación es inversamente proporcional debido a que mayor temperatura hay menor humedad y sin humedad no se puede generar el proceso de condensación y precipitación. La ecuación de la recta lineal de las dos variables tiene significancia estadística por lo que cada °C disminuye la precipitación en mm. También el porcentaje del coeficiente de determinación es considerable por lo que no están tan lejos de los puntos de los datos de la línea de regresión ajustada y se puede predecir la variable precipitación en función de la temperatura.

A través del tercer objetivo se pudo dar a conocer ciertas medidas de mitigación ante los riesgos de inundación, donde las medidas previas ante los eventos extremos son de mucha importancia para disminuir o evitar el posible impacto de la inundación especialmente en las zonas con alta altitud como San Juan de Turubamba, César Argüello, entre otras. También se debe considerar los riesgos por pendientes bajas y amenazas altas de inundación como El Parque La Carolina de la estación Iñaquito y la parroquia Cutuglagua de la estación Izobamba.

7. Recomendaciones

Realizar estrategias de adaptación como estudios de reconocimiento del sistema de alcantarillado público del espacio para la obtención de mapas de la zona que ayuden a diseñar, mejorar y supervisar las futuras y existentes obras de la ciudad y, en consecuencia, ayuden a disminuir el índice de inundaciones debido a la escasez del sistema del alcantarillado.

También es importante socializar y establecer medidas no estructurales que tienen como objetivo identificar las zonas propensas a desastres a la población para facilitar su colaboración y la adopción de medidas de autoprotección.

Es fundamental reforzar la conexión entre el GAD cantonal y parroquial de Quito para llevar a cabo las medidas de mitigación y, en consecuencia, dar respuestas efectivas para los eventos de inundación a las zonas más vulnerables del cantón Quito.

8. Bibliografía

Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). (2017). Resumen del año hidrológico 2016-2017 en España. España. Obtenido de http://www.aemet.es/es/noticias/2017/10/Hidrologico_2016_17

Alanís, J. (2017). Correlación y regresión lineal de variables climatológicas para el diseño ecotecnologías y arquitectura bioclimática. *Revista de Arquitectura y Diseño,* 1(2), 12. Obtenido de https://www.ecorfan.org/spain/researchjournals/Arquitectura_y_Diseno/vol1num2/Revista_de_Arquitectura_y_Dise%C3%B1o_V1_N2_1.pdf

Amaro, E. (Abril de 2003). Distribución de la precipitación en la República Mexicana. *Instituto de Geografía, UNAM, 50*(1), 67-76.

Amaya, L. (2019). *Análisis de las variaciones anuales de la precipitación en la zona comprendida entre los municipios de Guadalupe y de San Vicente, El Salvador C.A.* Tesis de postgrado, Universidad El Salvador. Obtenido de http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/19597/1/tesis%20final.pdf

Ammonit. (2017). Precipitation Sensor Young. Berlin, Alemania. Obtenido de https://www.ammonit.com/images/stories/download-pdfs/DataSheets/Precipitation/PrecipitationSensor_Young_S73100-H.pdf

Anzures, F. (2018). Correlación de temperaturas superficiales y variables fisiológicas con índices de confort en vacas Holstein lactantes en un ambiente caluroso. *Lechería*. Obtenido de https://www.engormix.com/ganaderia-leche/articulos/mvz-correlacion-temperaturas-superficiales-t42675.htm

Asamblea Nacional de la República del Ecuador. (2018). Constitución de la República del Ecuador. 136. Quito, Pichincha, Ecuador. Recuperado el 15 de Marzo de 2019, de https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_const.pdf

Bastidas, W. (2016). *Guía climática agroecoturística para el cantón Quito-provincia de Pichincha 2014.* Universidad Central del Ecuador, Quito.

Bateman, A. (2007). *Hidrología básica y aplicada.* España: Grupo de Investigación en Transporte de Sedimentos (GITS). Recuperado el 1 de Noviembre de 2020, de https://www.upct.es/~minaeees/hidrologia.pdf

Bidegain, M. (2011). Núcleos y procesos de la precipitación. Obtenido de http://meteo.fisica.edu.uy/Materias/elementos_met_y_clima/teorico_elementos_met_y_clima/Nubes.pdf

Bonilla, E., & Sehk, P. (2005). *Más allá del dilema de los métodos: la investigación en ciencias sociales* (Tercera ed.). Bogotá: Editorial Norma. Obtenido de https://laboratoriociudadut.files.wordpress.com/2018/05/mas-alla-del-dilema-de-los-metodos.pdf

Brito, C. (2018). *Estudio de la variabilidad temporal-espacial de lluvia a lo largo de la subcuenca del río Yanuncay del año 2016, Azuay-Ecuador.* Tesis, Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca. Obtenido de https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15580/1/UPS-CT007653.pdf

Cabezas, L. (2018). *Estudio de la variación de temperatura y precipitación en el distrito metropolitano de Quito y su relación con los factores de desarrollo urbano.* Universidad de las Américas, Quito. Obtenido de

http://dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/9816/1/UDLA-EC-TIAM-2018-23.pdf

Campbell Scientific. (2013). TE525 Tipping Bucket Rain Gage. USA. Obtenido de https://s.campbellsci.com/documents/us/miscellaneous/old-manuals/TE525,%20TE525WS,%20and%20TE525MM%20Texas%20Electronics%20Rain%20Gages.pdf

Carrizo et al. (Julio de 2018). Sustentabilidad y gestión de riesgo Respuesta, reparación y prevención frente a inundaciones desde un análisis de caso. *Letras Verdes. Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales* . doi:https://doi.org/10.17141/letrasverdes.24.2018.3328

Cedeño, J. (2010). Alta pluviometrico en Ecuador. Recuperado el 31 de Octubre de 2020, de https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000216357

Chassaigne, A., & otros. (Julio de 2013). Calibración de pluviómetro y termohigrómetros de estaciones meteorológicas automáticas. *Agronomía tropical*. Obtenido de http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:gpVX3xUkI_UJ:ve.scielo.org/scielo.php%3Fscript%3Dsci_arttext%26pid%3DS0002-192X2013000200008+&cd=2&hl=es-419&ct=clnk&gl=ec

Chereque, W. (2012). *Hidrología para estudiantes de Ingeniería Civil* (Segunda ed.). Lima, Peru: CONCYTEC. Obtenido de http://repositorio.pucp.edu.pe/index/bitstream/handle/123456789/28689/hidrologia.pdf

Creus, J. (1997). Dendrocronología y clima del último milenio en España. *Dialnet*. Recuperado el 30 de Octubre de 2020

Departamento de Desarrollo Regional y Medio Ambiente Secretaría Ejecutiva para Asuntos Económicos y Sociales Organización de los Estados Americanos. (1991). *Desastres, planificación y desarrollo: Manejo de amenazas naturales para reducir los daños.* Washington, D.C., Estados Unidos: Oficina de Asistencia para Desastres en el Extranjero de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional. Obtenido de http://www.oas.org/usde/publications/Unit/oea57s/begin.htm

Esperanza, M. (2013). *Efectos del cambio climático en la producción y rendimiento de cultivos por sectores.* IDEAM. Obtenido de http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Efectos+del+Cambio+Climatico+en+la+agricultura.pdf/3b209fae-f078-4823-afa0-1679224a5e85

Fernandez, M. (2013). *Efectos del cambio climático en la producción y rendimiento de cultivos por sectores.* Colombia: FONADE. Obtenido de http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Efectos+del+Cambio+Climatico+en+la+agricultura.pdf/3b209fae-f078-4823-afa0-1679224a5e85

Ferreli, F. (2015). *Variabilidad de las precipitaciones y sus efectos sobre la respuesta espacio-temporal de cuerpos de agua en la Región Pampeana, Argentina.* Tesis, Universidad Nacional de Luján, Buenos Aires.

Gallego, F. (1997). *Situaciones de flujo mediterráneo y precipitaciones asociadas: Aplicación a la predicción cuantitativa en la cuenca del Segura.* Murcia: Universidad de Murcia. Recuperado el 1 de Noviembre de 2020, de

https://books.google.com.ec/books?id=viq0i0pJLEAC&pg=PP1&lpg=PP1&dq=Situaciones+de+flujo+mediterr%C3%A1neo+y+precipitaciones+asociadas:+Aplicaci%C3%B3n+a+la+predicci%C3%B3n+cuantitativa+en+la+cuenca+del+Segura.&source=bl&ots=dhrsHvAMRD&sig=ACfU3U2gcBY0UDX

Garcia, F. (15 de Febrero de 2009). Variabilidad de la precipitación pluvial en la region Pacifico del Norte. *Agrociencia, 43*(1), 1-9. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v43n1/v43n1a1.pdf

García, J. (2004). Modelos de pérdidas para determinar precipitación efectiva usando sistemas de información geográfica. Lima, Perú: PIRHUA. Obtenido de https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1188/ICI_118.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Gavilanes, I. (2020). *Relación entre datos meteorológicos y de sensores remotos entre los años 2000 y 2018 en Quito, Ecuador.* Tesis, Universidad Politécnica Salesiana, Quito. Obtenido de https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/18498/1/UPS%20-%20ST004463.pdf

Giraldo, C. (2015). *Análisis de variabilidad climática de precipitacion, temperatura, radiacion solar y nubosidad y su incidencia en los caudales medios del rio Fonce en San Gil.* Unversidad Militar Nueva Granada, Ingeniería Civil. Bogotá: Neogranadina. Recuperado el 1 de Noviembre de 2020, de https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/6228/PROYECTO%20DE%20GRADO.pdf;jsessionid=0828CFA8B009FE196A136E98F430FBD6?sequence=1

González, I. (14 de Febrero de 2016). Diseño y desarrollo de un pluviógrafo semiautomático tipo Hellman. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 7*(1), 7. Recuperado el 1 de Noviembre de 2020, de http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v7n1/2007-0934-remexca-7-01-00095.pdf

Guzmán, V. (2012). *Impacto de la calidad de datos sobre el cierre del balance hídrico en cuencas de Páramo y Bosques (Mazar y Soldados).* Tesis postgrado, Universidad de Cuenca, Cuenca.

Herrera, C. (2017). *Estimación de datos faltantes de precipitación por el método de regresión lineal: Caso de estudio Cuenca Guadalupe, Baja California, México.* Universidad Autónoma de Aguascalientes, Baja California. Obtenido de https://www.redalyc.org/jatsRepo/674/67452917005/html/index.html

Instituto Geografico de Aragón. (2012). *Gobierno de Aragón*. Obtenido de https://idearagon.aragon.es/lib/IDEAragon/examples/ACCA/precipitacion.html

IPCC. (Enero de 2002). Cambio climático y diversidad. Junta del IPCC. Recuperado el 30 de Octubre de 2020, de https://archive.ipcc.ch/pdf/technical-papers/climate-changes-biodiversity-sp.pdf

IPCC. (2002). Informe del Grupo de trabajo I del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Recuperado el 4 de Noviembre de 2020, de https://archive.ipcc.ch/ipccreports/tar/vol4/spanish/pdf/wg1sum.pdf

Junta de Andalucía. (2017). Plan de emergencia ante el riesgo de inundaciones en Andalucía. Andalucía. Obtenido de

https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/maqueta_inundaciones_0.pdf

La Hora. (14 de Abril de 2020). Lluvia en el sur de Quito fue la más fuerte desde 2009. Quito. Obtenido de https://lahora.com.ec/quito/noticia/1102315925/lluvia-en-el-sur-de-quito-fue-la-mas-fuerte-desde-2009

Limaico, K. (2019). *Determinación de las fechas de siembra de tres cultivos al temporal, con base en el Kc del cultivo y el agua disponible en Tumbaco.* Universidad Central del Ecuador, Quito.

Línea Verde. (2014). El aire. Manual de Eduación Ambiental IV. España. Obtenido de http://www.lineaverdemunicipal.com/Recursos-educacion-ambiental/Aire-ozono-juegos.pdf

Magrin, G. (2007). *Variabilidad climática, cambio climático y sector agropecuario.* Obtenido de http://www.comunidadandina.org/predecan/doc/ext/climaLatino/INTA-IPCC.pdf

Mejia, R. (2017). *Análisis de la relación entre la temperatura superficial del mar frente a las costas ecuatorianas y la frecuencia de lluvias en estaciones meteorológicas seleccionadas en la cuenca del Río Guayas (1971-2015).* Tesis, Universidad de Guayaquil, Guayaquil. Obtenido de http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/29352/1/TESISEMPASTADO.pdf

Mejias, F. (Junio de 2017). Cómo diseñar y construir un pluviómetro totalizador Ddario para medir la lluvia en un sitio cualquiera. *Boletín Ambiental*, 2. Recuperado el 1 de Noviembre de 2020, de

http://idea.manizales.unal.edu.co/publicaciones/boletines_ambientales/boletin138.pdf

Ministerio del Ambiente (MAE). (2019). Reglamento al código Orgánico del Ambiente. Quito. Obtenido de https://site.inpc.gob.ec/pdfs/lotaip2020/REGLAMENTO%20AL%20CODIGO%20ORGANICO%20DEL%20AMBIENTE.pdf

Ministerio del Ambiente. (2014). Lineamientos para planes de cambio climático de gobiernos autónomos. Quito. Obtenido de https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-10/Documento_Lineamientos-Planes-Cambio-Climatico-Gobiernos-Autonomos.pdf

Muñoz, A. (Septiembre de 2015). *Cuantificación de los Errores al estimar la intensidad de Precipitación en el Paramo y la ciudad, ocasionados por la Tecnología de Monitoreo y el método de cálculo.* Tesis, Universidad de Cuenca, Cuenca. Obtenido de http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/23103/1/tesis.pdf

Ojeda, L. (2007). Probabilidad y estadítisca basica para ingenieros. Guayaquil, Ecuador: Centro de Publicaciones ESPOL. Obtenido de https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/25020/1/PROBABILIDAD%20Y%20ESTADISTICA%20BASICA%20PARA%20INGENIEROS.pdf

Orellana, L. (2008). Análisis de regresión. Obtenido de https://www.studocu.com/co/document/universidad-del-atlantico/metodos-numericos/resumenes/clase-regresion-simple/7940806/view

Pourrut, P., & Gomez, G. (2002). Factores condicionantes de los regimenes climáticos e hidrológicos. 5. Recuperado el 1 de Noviembre de 2020, de https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_7/divers2/010014826.pdf

Presidencia del Congreso Nacional. (10 de Enero de 2007). Ley orgánica de la defensa nacional. (S. G. Ecuador, Ed.) Quito, Ecuador. Obtenido de https://www.defensa.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/04/ene15_LEY-ORGANICA-DE-LA-DEFENSA-NACIONAL.pdf

República del Ecuador. (2013). *Buen Vivir Plan Nacional.* Quito: Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. Obtenido de http://ftp.eeq.com.ec/upload/informacionPublica/2013/PLAN-NACIONAL-PARA-EL-BUEN-VIVIR-2013-2017.pdf

Rivas, J. (2014). *Análisis de la correlación de datos de precipitación entre el satélite TRMM y las estaciones pluviometricas ubicadas en la cuenca del rio Bogotá.* Universidad Santo Tomas, Bogotá. Obtenido de https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2932/2014jeffersonrivas.pdf?sequence=4&isAllowed=y

Salazar, A. (2015). *Variabilidad de la temperatura y de la precipitación, en la ciudad de Toluca, estado de México. Periodo: 1970-2013.* Tesis, Universidad Autónoma del Estado de Mexico, Facultad de planeación urbana y regional , Toluca. Obtenido de http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/49235/UAEM-FAPUR-TESIS-PRIMO%2CALBERTO.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Sampieri, R., & otros. (2014). *Metodología de la investigación* (Sexta ed.). México, D. F.: McGraw-Hill Education. Recuperado el 11 de Marzo de 2019, de https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf

Sanchez, G. (Abril de 2008). Variacon de la precipitacion, efectos en la agricultura y algunos problemas sociales en el estado de Michoacan, Mexico. (J. M. Mateo, Ed.) *Geografía Ensino e Pesquisa*, 17. Recuperado el 1 de Noviembre de 2020, de https://www.researchgate.net/publication/318117065_VARIACION_DE_LA_PRECIPITACION_EFECTOS_EN_LA_AGRICULTURA_Y_ALGUNOS_PROBLEMAS_SOCIALES_EN_EL_ESTADO_DE_MICHOACAN_MEXICO

Serrano, S. (15 de Diciembre de 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*, 25. Obtenido de https://lagranja.ups.edu.ec/index.php/granja/article/view/16.2012.03

Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias. (23 de Julio de 2015). Acciones de prevención ante inundaciones en Puerto Francisco de Orellana. Francisco de Orellana.

Tancara, C. (Diciembre de 1993). La investigación documental. (P. I. Sociología, Ed.) *Revista de la carrera de sociología-UMSA*. Obtenido de http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0040-29151993000100008

Te Chow, v. (1988). Open Channel Hydraulics. New York, USA: McGraw-Hill.

Villacis, E. (Agosto de 2017). Precipitaciones extremas en la ciudad de Quito, provincia de Pichincha- Ecuador. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental, 38*(2). Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382017000200008

Villodas, R. (2008). *Libro Hidrología I Y II. Guía de Estudio para las Cátedras.* Argentina. Recuperado el 1 de Noviembre de 2020, de https://www.academia.edu/36851515/Hidrologia_I_y_II_Ruben_Villodas

Zubieta, R. (Febrero de 2019). Regionalización de la precipitación, su agresividad y concentración en la cuenca del río Guayas, Ecuador. *La Granja: Revista de ciencias de la vida*. Obtenido de http://scielo.senescyt.gob.ec/pdf/lgr/v30n2/1390-3799-lgr-30-02-00057.pdf

9. Anexos

9.1 Figuras

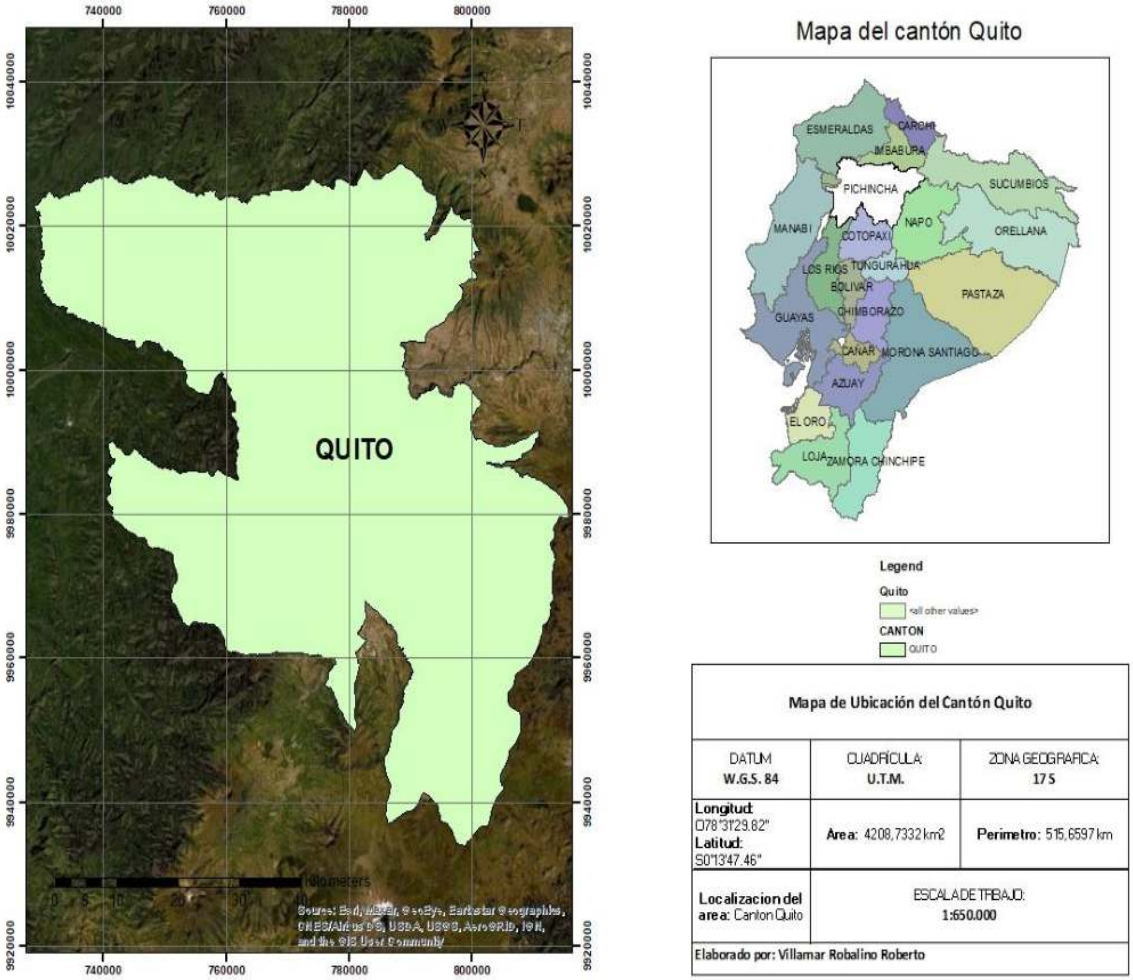

Figura 18. Ubicación geográfica de la ciudad de Quito, Ecuador
Arcgis, 2020

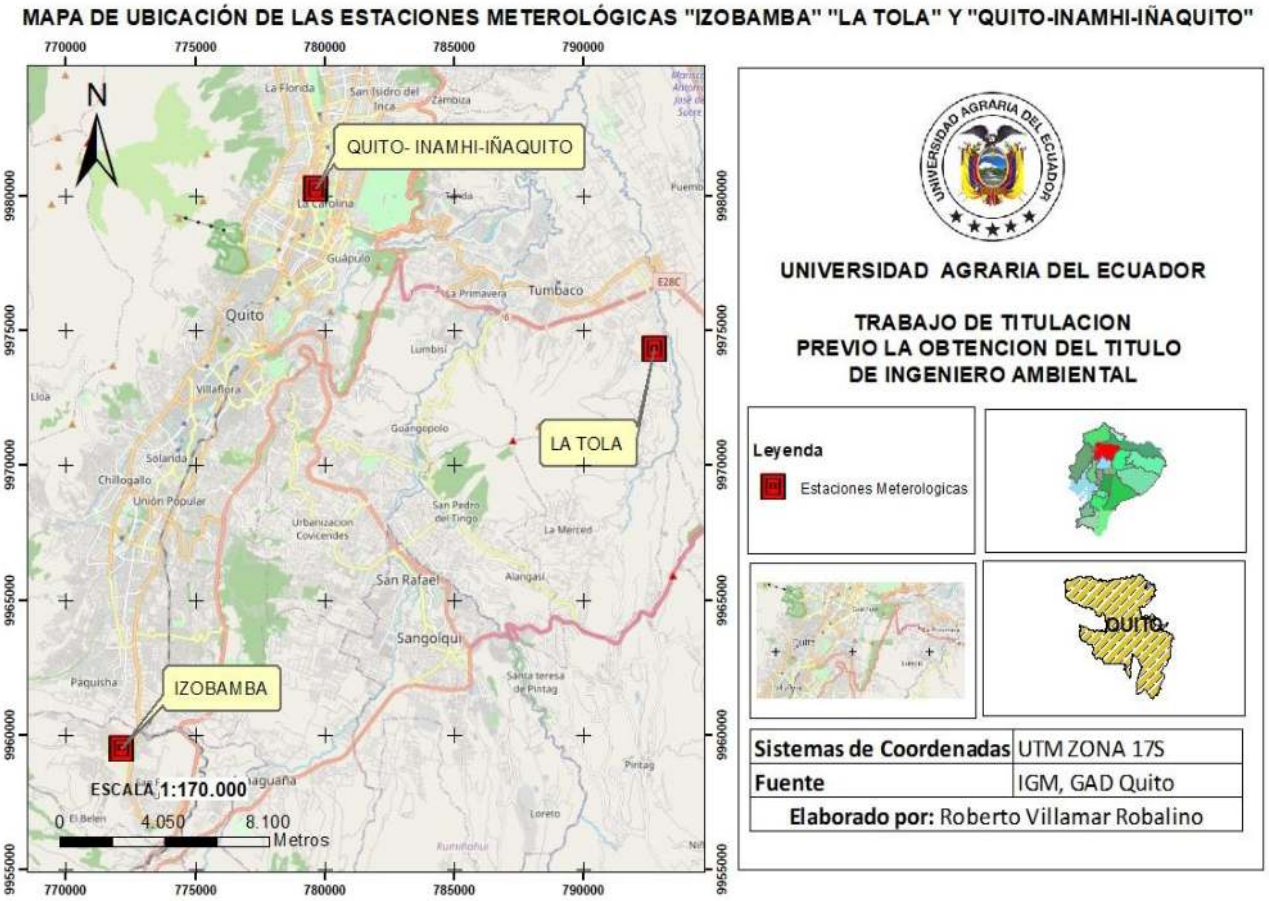

Figura 19. Mapa de las estaciones de Quito
Villamar, 2021

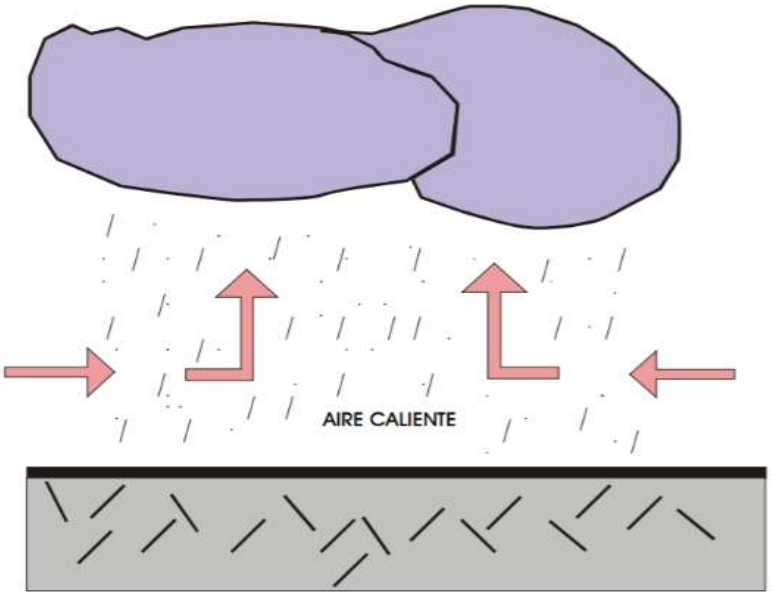

Figura 20. Precipitaciones convectivas
Bidegain, 2011

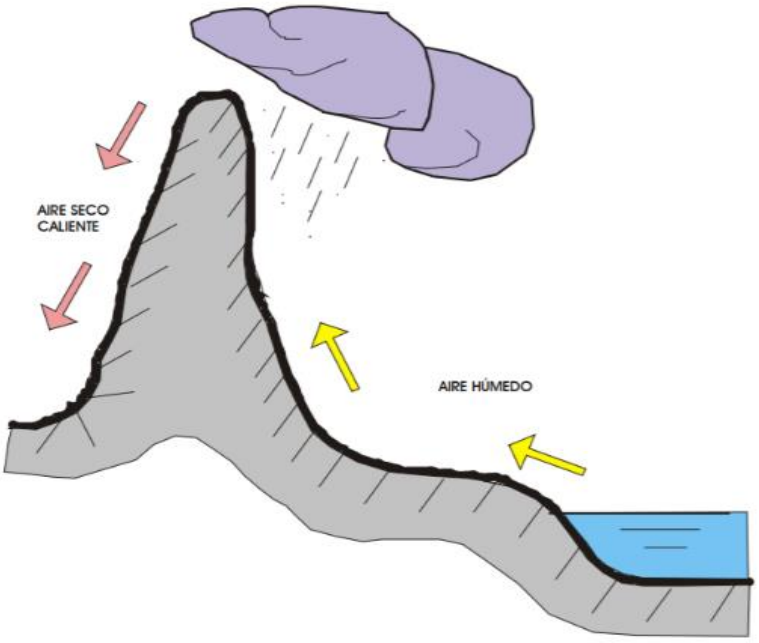

Figura 21. Precipitaciones orográficas
Bidegain, 2011

Figura 22. Pluviómetros totalizadores diario
Brito, 2018

Figura 23. Pluviómetro YOUNG-S73100H
Ammonit, 2017

Figura 24. Pluviógrafo SERPE R01 3032
Brito, 2018

Figura 25. Pluviógrafo de marca TE525MM
Campbell Scientific, 2013

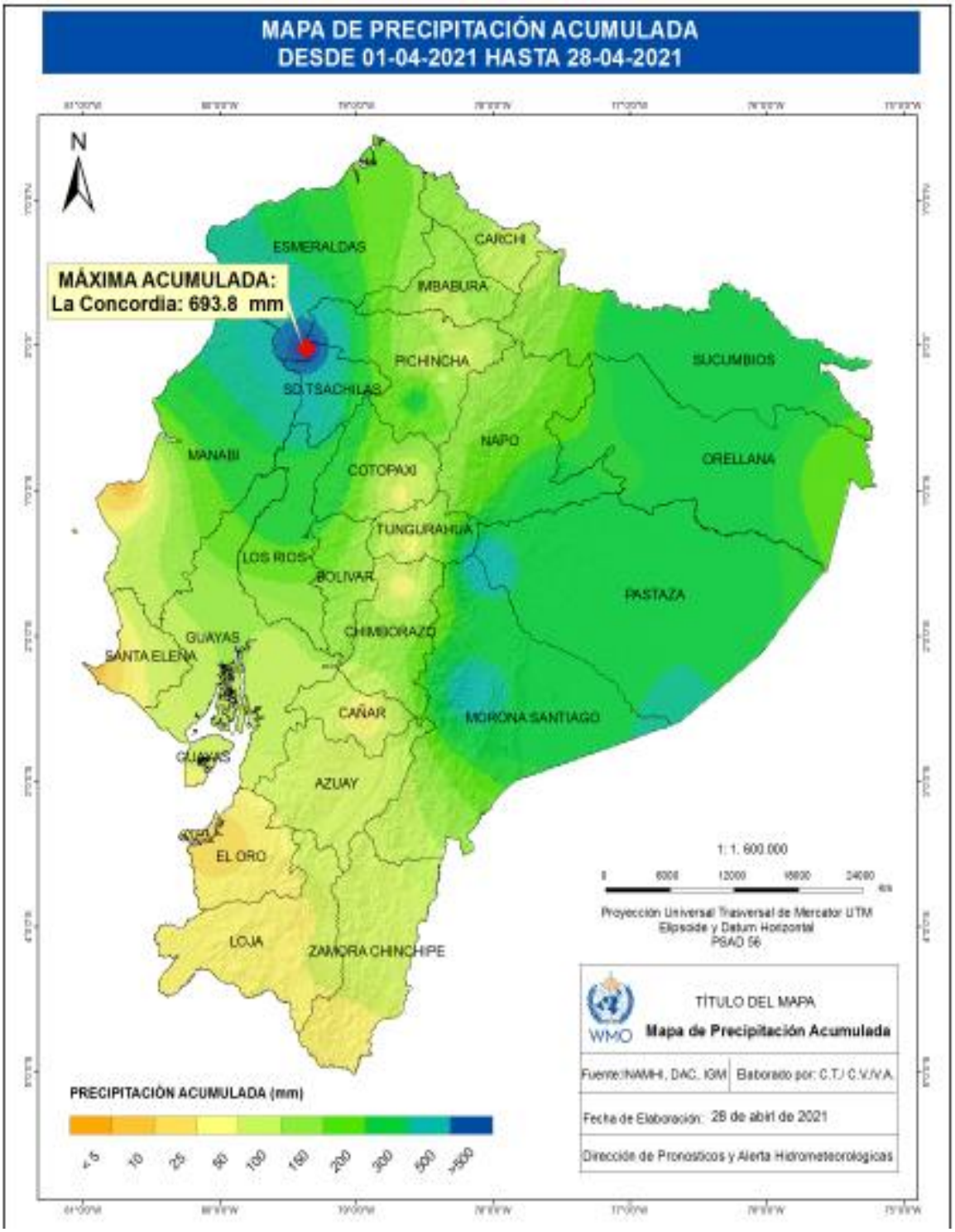

Figura 26. Mapa de precipitaciones
INAMHI, 2021

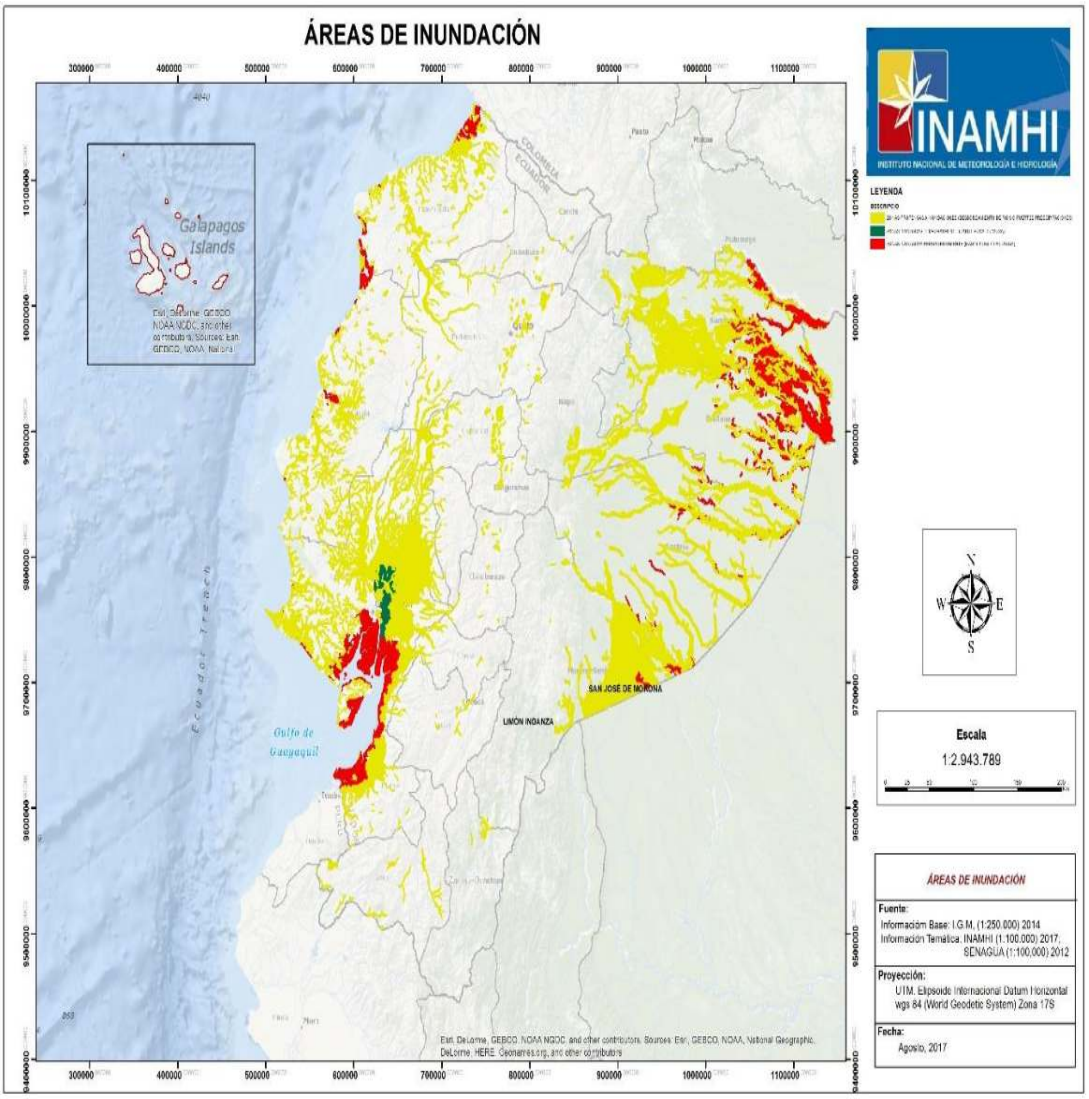

Figura 27. Mapa de las áreas de inundación
INAMHI, 2017

Figura 28. Mapa de los barrios susceptibles a inundaciones en Quito
Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, 2021

9.2 Tablas

Tabla 4. Coordenadas geográficas de la ciudad de Quito

Longitud	O78°31'29.82"
Latitud	S0°13'47.46"
Altitud	2.850 m.s.n.m.

Distrito Metropolitano de Quito, 2012

Tabla 5. Estaciones meteorológicas del INAMHI en el DMQ

Estación Meteorológica	Ubicación	Elevación
Estación M0024 (Iñaquito)	X=0° 10' 42"S	2789,00
	Y=78° 29' 16"O	
Estación M002 (La Tola)	X=0° 13' 54"S	2480,00
	Y=78° 22' 13"O	
Estación M003 (Izobamba)	X=0°21'57"S	3058,00
	Y=78°33'18"O	

INAMHI, 2013

Tabla 6. Rango de precipitación e intensidades

Rango de precipitaciones	Intensidad
0 < RR ≤ 10	Débil
10 < RR ≤ 30	Moderada
30 < RR ≤ 50	Fuerte
50 < RR ≤ 100	Muy fuerte
RR > 100	Torrencial

Manual Boletines INAMHI, 2020

Tabla 7. Clasificación de pendientes

Categoría	Clases (%)	Peso
Muy baja	0 a 15	5
Baja	15 a 30	4
Media	30 a 50	3
Alta	50 a 100	2
Muy alta	>100	1

Secretaria de Gestion de Riesgos, 2010