

“ANÁLISIS EXPLORATORIO ESPACIO-TEMPORAL DE LA PRECIPITACIÓN DENTRO DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO 2000-2019, EN EL CONTEXTO DE LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA”

RESUMEN

Los eventos de precipitación son objeto de investigación en diferentes regiones del mundo, han provocado distintos impactos socio económicos, ambientales y pérdidas humanas; esto en función de su distribución espacial causa diferentes fenómenos que provocan sequías e inundaciones en diferentes partes del territorio ecuatoriano. El objetivo de este estudio es realizar una caracterización exploratoria de la precipitación en función de su variabilidad espacial y temporal en la cuenca alta del río Guayllabamba y en la cuenca alta del río Napo utilizando la base de datos del FONAG/ EPMAPS (2000-2019) y CHIRPS (1981-2019). Se realizó un análisis temporal de las estaciones y una comparación entre las dos bases de datos, posterior se trabajó con la variabilidad interanual y se calculó el índice oceánico (Fenómeno del Niño) en función de la precipitación y se determinó diferentes correlaciones de los valores mensuales de los índices del Niño 1+2, Niño 3, Niño3+4 y Niño 4, utilizando información del sitio National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). El propósito de este estudio es observar las diferencias de las precipitaciones a lo largo del tiempo y en distintas estaciones; y su relación con el fenómeno El Niño ya que conocer el clima constituye un elemento esencial para la anticipación y mitigación de fenómenos hidrometeorológicos, especialmente orientados a la seguridad hídrica

Palabras claves: precipitación, cambio climático, El Niño, cuenca alta del río Guayllabamba, cuenca alta del río Napo

1.Introducción

América Latina se encuentra localizada en un amplio rango de latitudes y su geomorfología es particular, presenta importantes cadenas montañosas y por ende diferentes climas. Cabe resaltar que, en el último siglo, se ha evidenciado cambios en el clima, destacando la variabilidad en la intensidad y en la cantidad de la precipitación, como de la temperatura, por todo aquello mencionado esta zona es una de las regiones más afectadas al cambio climático (Yates, y otros, 2013).

De acuerdo con la Organización Meteorológica Mundial, esta define al cambio climático, como una variación estadística en estado habitual del clima o en su variabilidad, que dura un largo período de tiempo por lo menos durante decenios o períodos más largos. Esto puede ser producto de procesos internos naturales o cambios antrópicos en la composición de la atmósfera o explotación de la tierra, sin duda esto generará el incremento en la frecuencia e intensidad de eventos climáticos (Pomo, Jimenez , Usca , & Játiva, 2019).

El cambio climático es un problema que nos afecta a todos y se puede evidenciar en algunos indicadores ambientales a niveles globales como: en el 2019 la temperatura media mundial superó en $1,1 \pm 0,1$ °C los niveles preindustriales siendo el segundo año más cálido que existen con registros instrumentales; en el 2019 se redujo la extensión de hielo marino en el Ártico como en la Antártida; los océanos absorben aproximadamente el 90% del calor que se encuentra atrapado en el sistema Tierra por el incremento de los gases de efecto invernadero; las emisiones de dióxido de carbono de fuentes fósiles han aumentado progresivamente; así mismo se ha presentado una desoxigenación por lo cual indican que el oxígeno está disminuyendo y esto podría ser una amenaza que afecte al bienestar del ser humano; y por último la presencia de fenómenos extremos como precipitaciones, sequías, inundaciones, entre otros (OMM, 2019).

Es importante mencionar que en la última actualización del informe generado por el Centro de Investigaciones sobre Epidemiología de desastres y la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres en el 2020 menciona que en comparación del período 2000 al 2019 (sin contabilizar con el COVID-19) se han incrementado los eventos de desastres naturales siendo así que, en el 2020, las inundaciones son los eventos con mayor frecuencia con 201 registros es decir que hubo un aumento del 23% más inundaciones que la anual promedio de 163 eventos y un 18% más de muertes por inundaciones que el promedio anual de 5.233 muertes, seguido de las tormentas con 127 registros en el cual hubo un 26% más de tormentas que el promedio anual de 102 eventos; cabe indicar que al pasar los años los eventos incrementan (CRED , EM-DAT, & UNDRR, 2021).

El Ecuador al estar ubicado al noreste de América del Sur, presenta una de las zonas de riesgos diversos y complejos por sus condiciones geomorfológicas y el efecto antrópico del hombre, hace que este territorio sea más propenso a riesgos. El Ecuador está localizado en el cinturón de bajas presiones en la zona de convergencia tropical (factor determinante en la distribución espacio temporal en la variabilidad climática), la cual se caracteriza por estar relacionada a amenazas hidrometeorológicas que ocasionan precipitaciones, sequías, inundaciones, efectos del fenómeno el Niño, entre otros (FAO, 2008) (IDEAM, Melo, Ruiz , & Subdirección de Meteorología Colombia, 2018).

La cordillera de los Andes es considerada como un almacenador y surtidor del recurso hídrico que permite la presencia de los diferentes asentamientos humanos y el desarrollo de diferentes actividades productivas, entre ellas se menciona: la minería,

agricultura, hidroeléctricas, sin embargo, es un territorio con importantes carencias de su uso por la población. La región Andina presenta los ríos y cuencas más importantes de América del Sur, con relación al Ecuador se confirma que las montañas y los glaciares son las principales fuentes de agua para el consumo humano y para los ecosistemas (FAO, 2014).

Es evidente que el cambio climático está impactando en el territorio y se tiene registros que en el Ecuador hubo una pérdida de los glaciares entre el 30% al 50 % en los últimos 30 años, actualmente tiene una cobertura de 43.5 km², un ejemplo de la reducción del glaciar es el nevado Carihuayrazo que ha perdido el 95% de su cobertura glaciar en un periodo de 63 años, a través de diferentes pronósticos se menciona que el glaciar podría desaparecer en los próximos 5 años. Además, se ha incrementado la temperatura, las precipitaciones en la sierra, aumentos en la frecuencia del fenómeno El Niño-Oscilación del Sur el mismo que se define como un fenómeno climático producido por el calentamiento que se presenta en el Pacífico ecuatorial que trae como consecuencias lluvias más intensas, sequías, inundaciones y menos producción agrícola (FAO, 2014) (PNUD, 2019) (Servicio Nacional de Gestión de riesgos, 2019).

Con dicha premisa, - es importante mencionar que las precipitaciones tienen un gran impacto en los territorios y se definen como cualquier forma de hidrometeoro que cae en la atmósfera y llega a la superficie terrestre, este fenómeno asocia a la lluvia, nieve, aguanieve y granizo. La cantidad de precipitación en un punto de la superficie terrestre es considerada pluviosidad (SGR, 2014). Además, la distribución temporal de lluvia (patrones de lluvia en un intervalo de tiempo) constituye un elemento esencial para la anticipación y enfrentamiento de desastres hidrológicos aportando una base técnica y teórica apropiada como soporte a la toma de decisiones en cada territorio (Perdigon, González, Alarcon, & Ulloa, 2019).

La precipitación es un tema primordial ya que en altos porcentajes de concentración puede aumentar los procesos de erosión, inestabilidad de laderas y riesgo de inundaciones afectando a la población (Lagos, Silva, Nickl, & Mosquera, 2008). Por ello, se ha realizado diferentes investigaciones alrededor del mundo, que hacen hincapié en su importancia, por ejemplo, en el 2011 a través del Instituto de Sistemas Agrícolas y Forestales del Mediterráneo y el Instituto de Investigación para la Protección Geohidrológica de Italia, se llevó a cabo un estudio que analizó los patrones espaciales de la variabilidad de la lluvia en diferentes escalas de tiempo. En este estudio los resultados indicaron que la estructura espacial de las mediciones de lluvia cambia a lo largo de los meses y a medida que la escala de tiempo aumenta en días, meses, las estaciones al total anual. Conocer al respecto de los patrones de la lluvia en diferentes escalas de tiempo es primordial porque permite ser un insumo preliminar para evaluar los recursos hídricos (Buttafuoco, Caloiero, & Coscarelli, 2011).

Así mismo, en el 2008 Lagos et al a través de su artículo “Variabilidad de las precipitaciones relacionadas con El Niño en Perú”, documentó la relación entre las anomalías de la temperatura media mensual de la superficie del mar (TSM) en las regiones de El Niño con las precipitaciones de 44 estaciones en Perú desde 1950 hasta el 2002, y concluyó que a través de sus correlaciones se puede establecer el potencial pronóstico estadístico de las precipitaciones totales mensuales en Perú (Lagos, Silva, Nickl, & Mosquera, 2008).

Por otro lado, en el 2016 Rau et al realizaron un estudio basado en la regionalización de las precipitaciones sobre la vertiente del Pacífico peruano y las costas,

e identificaron la caracterización detallada del régimen de lluvias en función a una escala de tiempo estacional e interanual, misma que está relacionada al fenómeno El Niño. Sin embargo, este estudio va orientado a ser un documento previo para la gestión de los recursos hídricos, la mitigación de los riesgos asociados a los fenómenos meteorológicos extremos y para los estudios de impacto (Rau & Otros, 2016).

Estos estudios resaltan la importancia de la variabilidad de precipitación. Por un lado, porque toman en cuenta los riesgos asociados al fenómeno natural y, por el otro porque consideran necesidad de contar y analizar las redes de monitoreo correctamente distribuidas para comprender la precipitación en el espacio y el tiempo. La precipitación en el Ecuador posee una distribución heterogénea, cabe resaltar que está influenciada por la Costa Pacífica y por la Cuenca Amazónica y al no tener investigaciones en los cambios a escalas de tiempo más largas y en los distintos niveles altitudinales, se desconoce la tendencia y no se puede tomar acciones que podrían ser condicionantes en un futuro como repercusiones en la afectación de la salud, seguridad alimentaria, hídrica, humana, medios de subsistencia, economías, infraestructura y biodiversidad lo que ocasionaría un debilitamiento en el desarrollo sostenible del territorio (OMM, 2019).

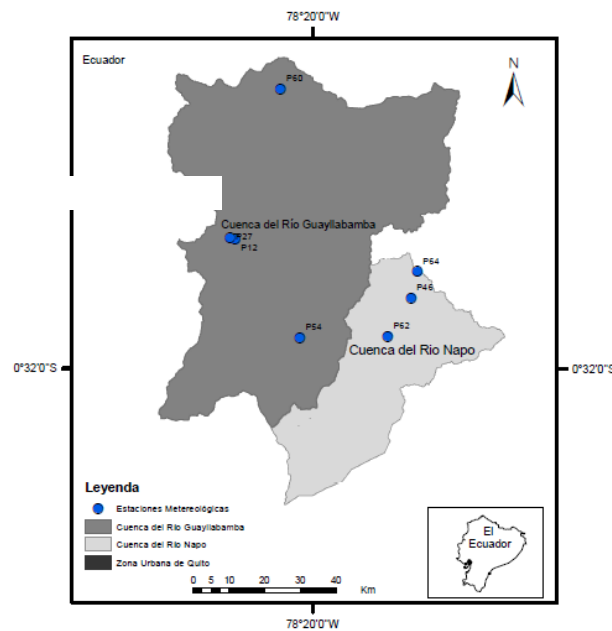
Por lo expuesto anteriormente, el propósito del presente trabajo de investigación es realizar una caracterización exploratoria de la precipitación en función de su variabilidad espacial y temporal en la cuenca alta del río Guayllabamba y en la cuenca alta del río Napo, y su relación con el fenómeno El Niño. El propósito de esta investigación es tener una idea general de su impacto en los patrones de lluvia que permitirán ser la base de próximos estudios sobre variabilidad y ocurrencia de eventos a otras escalas de tiempo. Cabe mencionar que conocer el clima constituye un elemento esencial para la anticipación y enfrentamiento de fenómenos hidrometeorológicos.

2. Área de estudio, datos y metodología

La presente investigación se centra en el área de la cuenca alta del río Guayllabamba y en la cuenca alta del río Napo, en las provincias de Pichincha y Napo respectivamente. Sus altitudes varían entre 490 msnm hasta 4950 msnm, tiene un relieve irregular que cuenta con una importante diversidad de pisos climáticos y ecosistemas que desde el desarrollo sustentable constituye importantes potencialidades (Secretaría de Seguridad, Alcaldía Quito, & Bomberos DMQ, 2015) (Secretaría de Territorio, Hábitat y Vivienda, 2012).

Las estaciones meteorológicas a ser estudiadas son: Toctiuco (P12), San Francisco (P27), Chalpi Grande (P46), El Carmen (P54), San José de Minas (P60), Blanco Chico Alto (P62) y Laguna Encantada (P64) (Ver Figura 1).

Figura 1: Ubicación de las estaciones pluviométricas utilizadas para el presente estudio



Fuente: Base de datos FONAG/EPMAFS 2000-2019/ IGM 2013

Elaborado por: Autor

Para este estudio se utilizó la investigación de tipo cuantitativa, utilizando la recolección de datos para probar cierta pregunta de investigación acompañada con el análisis estadístico, esto con el objetivo de establecer pautas de comportamiento (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014)

Se trabajó con dos bases de datos: la primera es la red de FONAG (Fondo para la protección del Agua)- EPMAFS (Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento de Quito) que contiene 56 datos: 44 pertenecen a estaciones pluviométricas y 12 a estaciones climáticas; y registran datos de forma horaria desde el 2000 hasta el 2019; y la segunda base de datos que se utilizó es la de CHIRPS (Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data) que contiene datos de precipitaciones mundiales desde 1981 hasta el 2019.

En una primera parte se trabajó con la base de FONAG- EPMAFS, en la cual se realizó una homogenización en el software R y se obtuvo una submuestra de 7 estaciones pluviométricas más robustas que contienen información desde el 2000 hasta el 2019 y se realizó un análisis temporal, estas estaciones se distribuyen de forma más homogénea en el área de estudio, que corresponde a la zona central del valle interandino, cabe mencionar que cuatro estaciones están ubicadas en la cuenca alta del río Guayllabamba y las otras tres en la cuenca alto del río Napo (Ver tabla 1).

Tabla 1 :Lista de estaciones metereológicas

CDIGO	ESTACIÓN	LONGITUD	LATITUD	ALTURA	AÑO	VALOR PREC. ANUAL
p12	Toctiuco	496962.947	9977180.18	3200	2000	872.63
p27	San Francisco	495580.29	9977632.63	3579	2003	949.04
p46	Chalpi Grande	546170.207	9960778.58	2883	2006	741.87
p54	El Carmen	515012.274	9949730.5	3284	2009	408.57
p60	San José de Minas	509664.021	10019182.1	2466	2010	392.52
p62	Blanco Chico Alto	539591.676	9949890.69	4320	2011	1394.62
p64	Laguna Encantada	547840.085	9968126.57	4001	2011	897.24

Fuente: Base de datos FONAG/EPMAPS 2000-2019

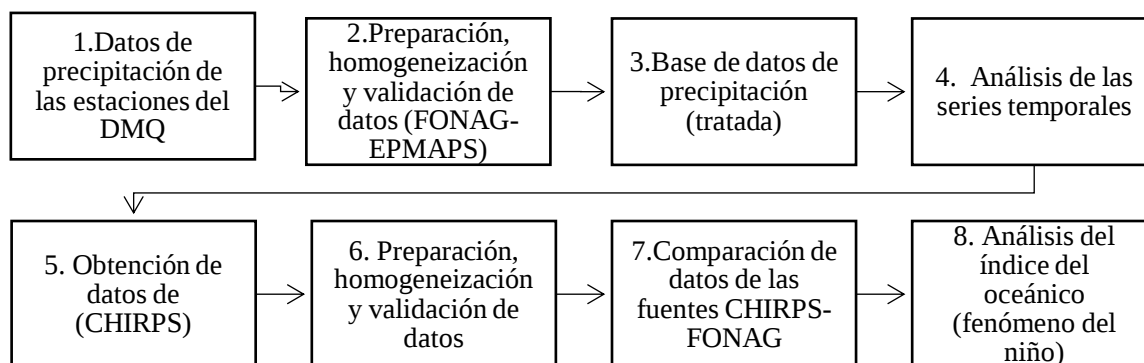
Elaborado por: Autor

La segunda base complementaria de datos que se utilizó fue la de CHIRPS, en esta se hizo una homogenización de los datos y el respectivo análisis temporal. Posterior se realizó una comparación entre las dos bases de datos de datos con el fin de observar la desviación estándar y el coeficiente de variación.

Finalmente, se realizó un análisis del índice oceánico (Fenómeno del Niño) en función de la precipitación y se determinó diferentes correlaciones de los valores mensuales de los índices del Niño 1+2, Niño 3, Niño3+4 y Niño 4, esta información se obtuvo del sitio National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) que contiene datos desde 1950 hasta a la fecha a paso mensual.

A continuación, se detalla un diagrama de flujo que representa la metodología:

Diagrama 1: Esquema metodología de la caracterización exploratorio espacial y temporal de la precipitación dentro del Distrito Metropolitano de Quito 2000-2019 (Modificado de Rau; Otros, 2016)



Fuente: Base de datos FONAG/EPMAPS 2000-2019/ IGM 2013

Elaborado por: Autor

3. Resultados

3.1 Ciclo Anual

Se evidencia que las precipitaciones en los Andes empiezan en octubre y se extienden hasta mayo, reflejándose una mayor intensidad en el mes de abril en el período estudiado (2000-2019). Dentro de los datos obtenidos de las series temporales se pudo visualizar que las series de ciclo anual presentan ciertas características entre las 7 estaciones analizadas, se obtuvo que la mayor cantidad de precipitación registrada promedio anual es la estación Blanco Chico Alto-P62 (desde el 2011 hasta el 2019) con un valor promedio de 1394.6205 mm/año y el año más alto de precipitación registrado fue en el 2017 en esta misma estación con un valor de 3146.06 mm, mismas que se encuentran ubicadas en la cuenca alta del río Napo.

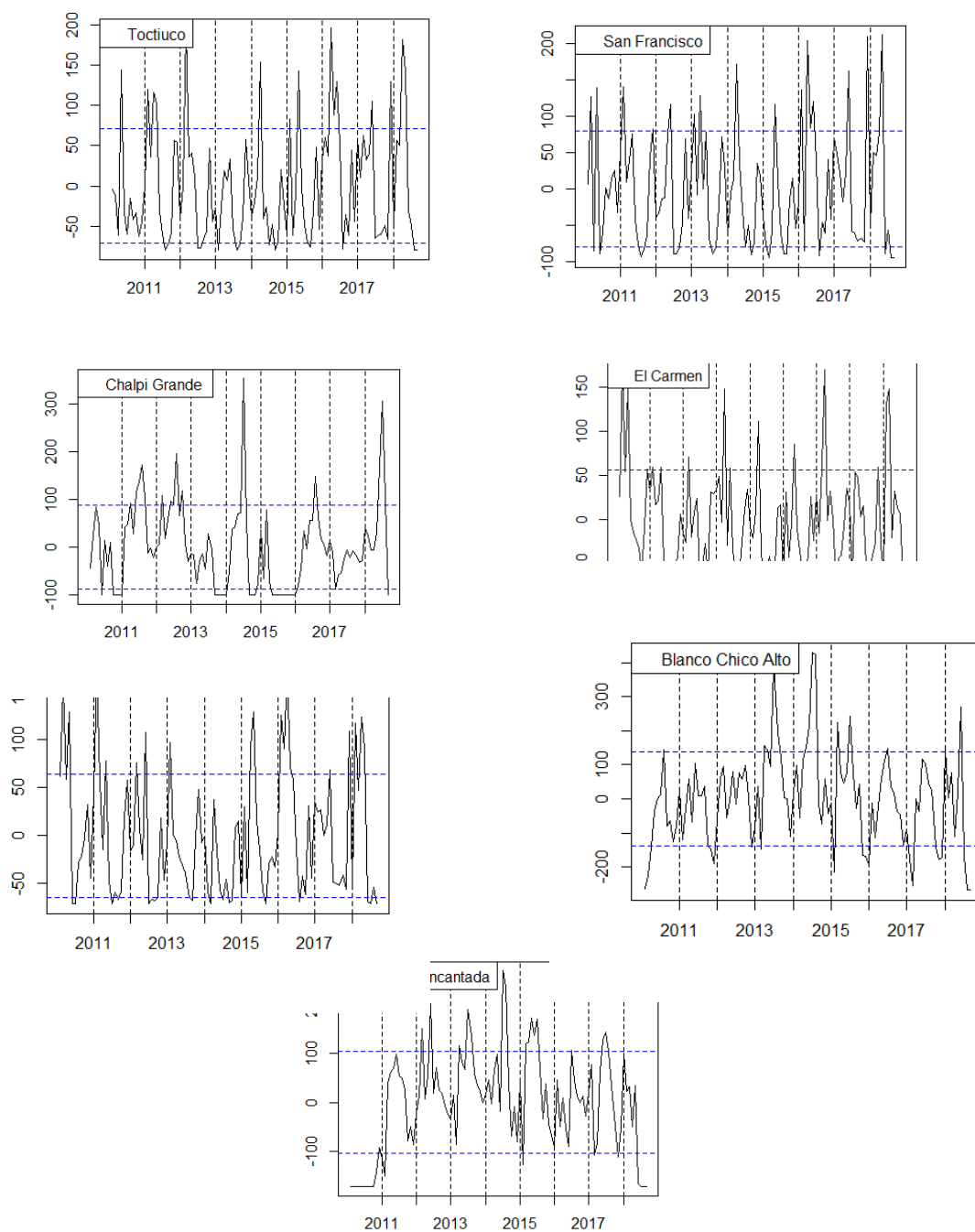
Por otro lado, los valores más bajos de precipitación registrada en promedio anual es la estación de San José de Minas- P60 (desde el 2010 hasta el 2019) con un valor promedio de 392.52 mm/año y el año más bajo registrado fue en el 2000 en la estación de Toctiuco- P12 con un valor de 312.3 mm (desde el 2000 hasta el 2019) en la cuenca del río Guayllabamba.

3.2 Variabilidad interanual

La variabilidad interanual de la precipitación permite identificar la diferenciación que existe de un mes a otro y de un año a otro a través de los índices de precipitación. Esto se obtiene por medio de una serie temporal aplicando una media móvil de seis meses de tiempo. La figura 3 muestra los resultados de las 7 estaciones estudiadas, se tomó información desde el 2011 ya que todas las estaciones tenían datos en común. Cabe mencionar que las series de tiempo están dominadas por la variabilidad interanual, y están delimitados por una desviación estándar (línea horizontal), misma que muestra el incremento o disminución de la precipitación.

Los valores más altos de precipitación se encuentran en la cuenca alta del río Napo en las siguientes estaciones: Blanco Chico Alto registra 420 mm en el 2014, seguido de Chalpi Grande registra 340 mm en el 2014 y en la estación Laguna Encantada con 240 mm. Mientras que en la cuenca alta del Guayllabamba los registros más altos son: la estación El Carmen registra 340 mm en el 2014, posterior la estación Toctiuco registra 180 mm en el 2016 y San Francisco registra 210 mm en el 2018.

Figura 2: Serie de tiempo anual de las siete estaciones representativas correspondiente al índice de precipitación (mm/mes)



Fuer

2019

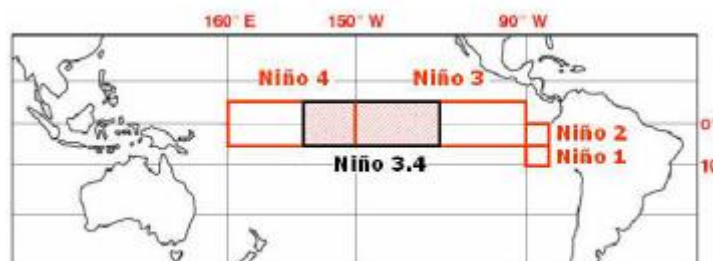
Elaborado por: Autor

3.3 Análisis de correlación

3.3.1 Temperatura superficial del mar (TSM) durante el fenómeno del Niño y precipitación

El análisis de correlación entre las 7 estaciones meteorológicas se realizó a través de los índices de precipitación con los 4 índices de anomalías de TSM que están relacionados con las regiones Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4 y el Niño 4 (Ver figura 4).

Figura 4: Ubicación de las regiones de El Niño.



Nota: Figura tomada de

geosci.net/14/231/2008/

2008, www.adv-

Para esta correlación, se trabajó con los meses de octubre a marzo, que corresponden a la época lluviosa, utilizando la base del FONAG-EPMAPS (se homogenizó los datos y se utilizó la información desde el 2011 al 2019). Los resultados se presentan en la tabla 2 y en las figuras 4-6. En la tabla 2 se identifica la correlación de la precipitación con el fenómeno del Niño, sin embargo, solo se ha utilizado diferentes valores para poder interpretar mejor la relación, por ello se tomó los datos que sean mayor de ≥ 0.5 . Los colores más intensos representan una correlación significativa.

Tabla 2: Coeficientes de correlación lineal entre índices para las regiones de El Niño y precipitación.

ESTACIÓN	NIÑO 1+2						NIÑO 3						NIÑO 3.4						NIÑO 4					
	O	N	D	E	F	M	O	N	D	E	F	M	O	N	D	E	F	M	O	N	D	E	F	M
Toctiuc	-0.02	0.27	-0.71	0.28	-0.26	0.37	0.02	0.37	-0.77	0.32	-0.38	0.23	-0.02	0.39	-0.75	0.26	-0.35	0.23	0.04	0.43	-0.68	0.08	-0.28	0.23
San Francisco	-0.07	0.39	-0.67	-0.22	-0.42	0.35	-0.09	0.47	-0.67	-0.46	-0.64	0.08	-0.15	0.49	-0.68	-0.53	-0.63	0.13	-0.22	0.52	-0.76	-0.52	-0.57	0.24
Chalpi Grand	-0.49	-0.32	0.29	-0.34	0.22	0.06	-0.28	-0.10	0.41	-0.34	0.36	-0.39	-0.17	-0.01	0.47	-0.31	0.33	-0.51	-0.01	0.08	0.51	-0.32	0.13	-0.65
El Carmen	0.33	-0.33	-0.76	0.52	0.05	0.24	0.27	-0.28	-0.83	0.29	-0.40	-0.27	0.21	-0.26	-0.86	0.18	-0.50	-0.24	0.27	-0.28	-0.88	0.05	-0.48	-0.07
San José de Minas	-0.23	0.45	-0.86	0.17	0.13	0.74	-0.19	0.54	-0.87	-0.15	-0.52	0.52	-0.20	0.55	-0.89	-0.28	-0.72	0.43	-0.27	0.57	-0.91	-0.43	-0.82	0.33
Blanco Chico Alto	0.47	0.44	0.34	0.00	0.51	0.10	0.52	0.37	0.43	0.04	0.79	0.21	0.47	0.35	0.40	0.09	0.79	0.30	0.37	0.27	0.36	0.32	0.64	0.42
Laguna Encantada	0.17	-0.12	0.43	-0.21	0.31	0.42	0.27	-0.03	0.59	-0.08	0.59	0.61	0.24	0.00	0.66	0.03	0.61	0.60	0.30	0.13	0.77	0.33	0.51	0.57

Leyenda	
0.5 a 0.6	
0.6 a 0.7	
0.7 a 0.8	
0.8 a 0.9	
-0.5 a -0.6	
-0.6 a -0.7	
>0.7	

Fuente: Base de datos FONAG/EPMAPS 2000-2019/ IGM 2013 / NOAA

Elaborado por: Autor

Los coeficientes de correlación entre los índices de precipitación en los Andes y los índices de anomalías de TSM para la región de El Niño1+2 son neutrales en general, sin embargo, en la región norte son débilmente negativo en la cuenca del Guayllabamba pero en el mes de diciembre y marzo tiene una correlación moderadamente negativa; y por último en la parte sur tiene una tendencia a una correlación positivo, pero en el mes de marzo existe una correlación fuerte en la cuenca alta del Guayllabamba. En el Niño 3

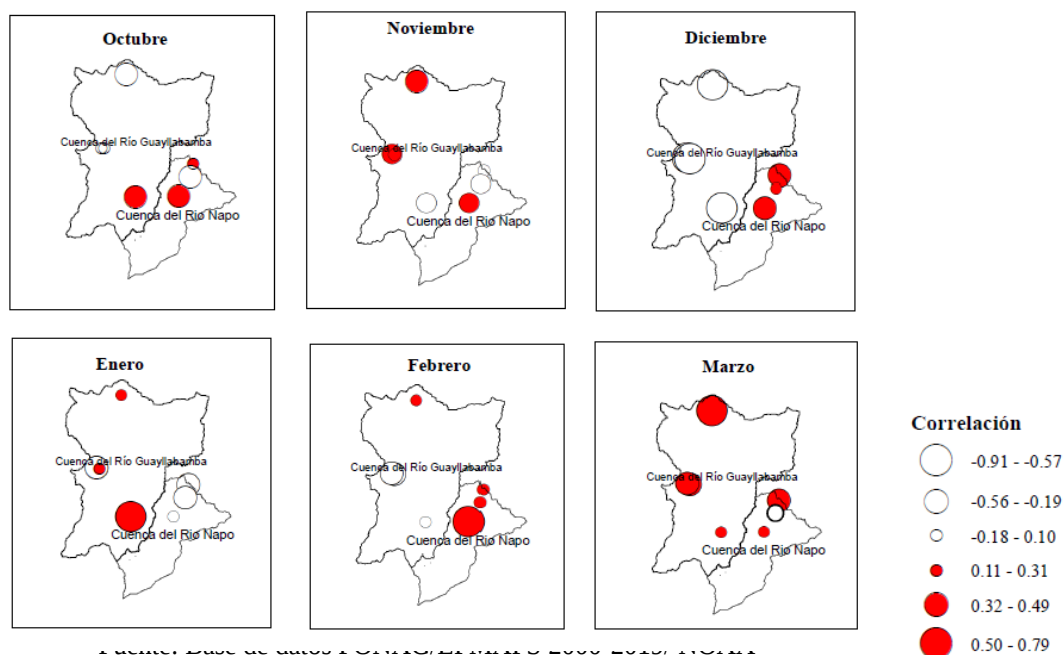
los valores son neutrales en la parte central, sin embargo, en la región del norte en el mes de diciembre y en febrero son moderadamente negativos en la cuenca alta del río Guayllabamba; pero en la cuenca alta del río Napo son moderadamente positivos en los mismos meses y en la parte de la región sur son moderadamente positivos.

Por otro lado, para la región de El Niño 3.4 son moderadamente negativos en la parte norte específicamente en los meses de diciembre, enero, y febrero en la cuenca del Guayllabamba, mientras que en la parte central son neutrales y en el sur son moderadamente positivos específicamente en el mes de febrero en la cuenca alta del río Napo. Por último, en la región estudiada del Niño 4 en la parte norte presentan valores negativos, pero en el mes de diciembre y febrero son moderadamente fuertes en la cuenca del Guayllabamba, mientras que en la parte central son neutrales; y en el sur son moderadamente positivos, específicamente en el mes de diciembre en la cuenca alta del río Napo.

Así mismo, los coeficientes de correlación entre los índices de precipitación de la cuenca alta del río Napo y del río Guayllabamba con referencia a los índices de anomalías de TSM para las cuatro regiones del fenómeno del Niño son de pequeña magnitud. Es importante mencionar que las Figura 4 y 5 muestra la correlación entre los índices de anomalías de TSM para la región de El Niño 1 + 2 y El Niño 3 respectivamente. Las figuras 6 y 7 indican lo mismo con la diferencia que hace hincapié en la región el Niño 3+4 y en la 4.

Para concluir las 4 regiones son estudiadas en los meses de octubre a marzo. En estas figuras, las magnitudes de los coeficientes de correlación están indicados por el tamaño de los círculos blancos y rojos; las correlaciones positivas más fuertes se encuentran en los círculos pintados de rojos como se muestran en las figuras 4-7.

Figura 3: Correlación entre índices de precipitación y anomalía de SST índices en la región El Niño 1 + 2.



Elaborado por: Autor

Figura 4: Correlación entre índices de precipitación y anomalía de SST índices en la región El Niño 3

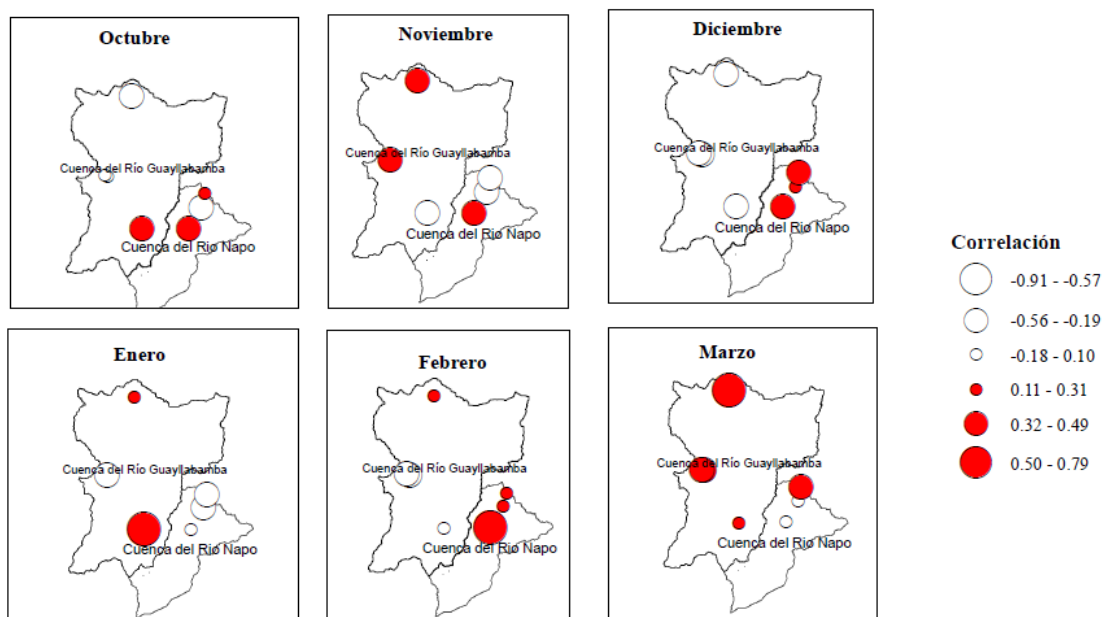


Figura 5: Correlación entre índices de precipitación y anomalía de SST índices en la región El Niño 3+4

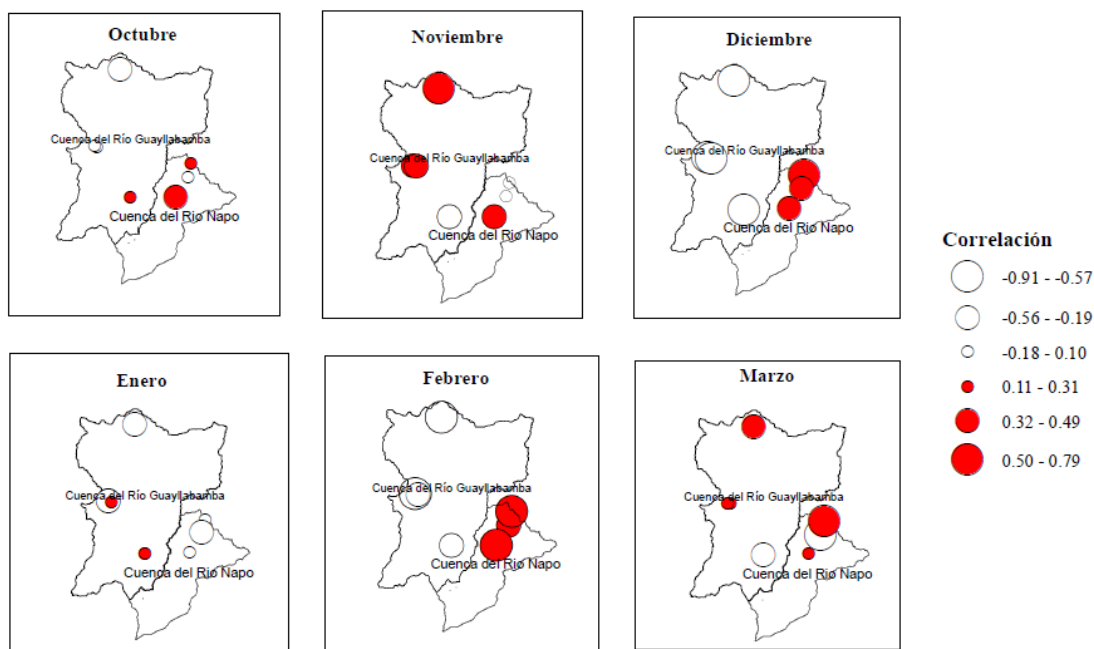
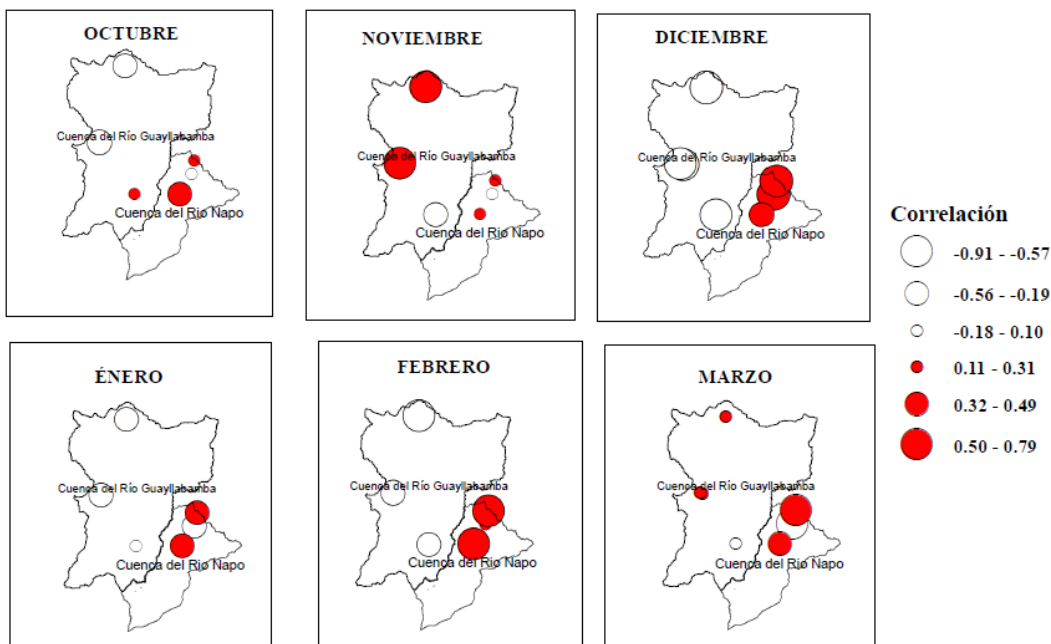


Figura 6: Correlación entre índices de precipitación y anomalía de SST índices en la región El Niño 4



3.3.2 Comparación entre los datos del FONAG-EPMAPS/ CHIRPS

La base de datos del FONAG- EPMAPS es una red de datos que registra información de la cuenca del Guayllabamba y sobre la parte alta del Napo con el fin de monitorear las precipitaciones y su relación con el recurso hídrico, sin embargo, solo tiene

datos desde el año 2000 hasta el 2019 por esta razón es importante apoyarse en otra tecnología para poder rescatar valores de precipitación de años previos, por ello se tomó datos de la base de CHIRPS la cual contiene datos desde 1981 hasta la fecha actual, a nivel mundial.

Es importante mencionar que la base de datos del FONAG- EPMAPS tiene registros de forma horaria y en algunas estaciones no contienen información completa desde el 2000; por ello los datos de CHIRPS son importantes ya que tienen registros de datos con una mayor duración de tiempo y tienen valores registrados permanentes de forma diaria.

Para tener una comparación visual óptima se tomó los datos de las 7 estaciones estudiadas desde el 2011 hasta el 2019 y se pudo observar que los datos de CHIRPS refleja valores más altos con los registros instrumentales de FONAG- EPMAPS (Ver Figura 8).

Es importante destacar que al realizar la comparación de los valores registrados a nivel diario entre las dos bases se obtuvo lo siguiente: el dato máximo registrado por la fuente de FONAG/EPMAPS se encuentra en la estación Blanco Chico Alto con un valor de 101 mm mientras que en la base de CHIRPS se registra en la estación Chalpi Grande con 172.033 mm. La estación que registro menos precipitación fue la estación El Carmen con 49.2 mm en la fuente de FONAG/EPMAPS mientras que en la fuente de CHIRPS fue de 70.49 mm en la misma estación. Los datos mínimos registrados en las dos bases de datos fueron de 0 mm en todas las estaciones.

Así mismo los datos varían en la base de FONAG/ EPMAPS alrededor de 4.9 mm en la estación El Carmen siendo el valor mínimo, mientras que en la estación Blanco Chico Alto varia alrededor de 11.8 mm, siendo el valor máximo. Por otro lado, en la desviación estándar de CHIRPS es 7.2 mm en la estación El Carmen siendo el valor mínimo; y en la estación Chalpi Grande es de 11.6 mm, considerado el valor máximo.

Por último, se realizó el análisis de como varían una estación de una fuente a otra y se obtuvo que la estación que tiene menos variación es la de San Francisco con 0,46 mm ubicada en la cuenca alta del río Guayllabamba, mientras que la estación Blanco Chico Alto tuvo una variación de 5.52 mm, lo cual muestra que en la cuenca alta del río Napo hay mayor variación, aunque no es significativa.

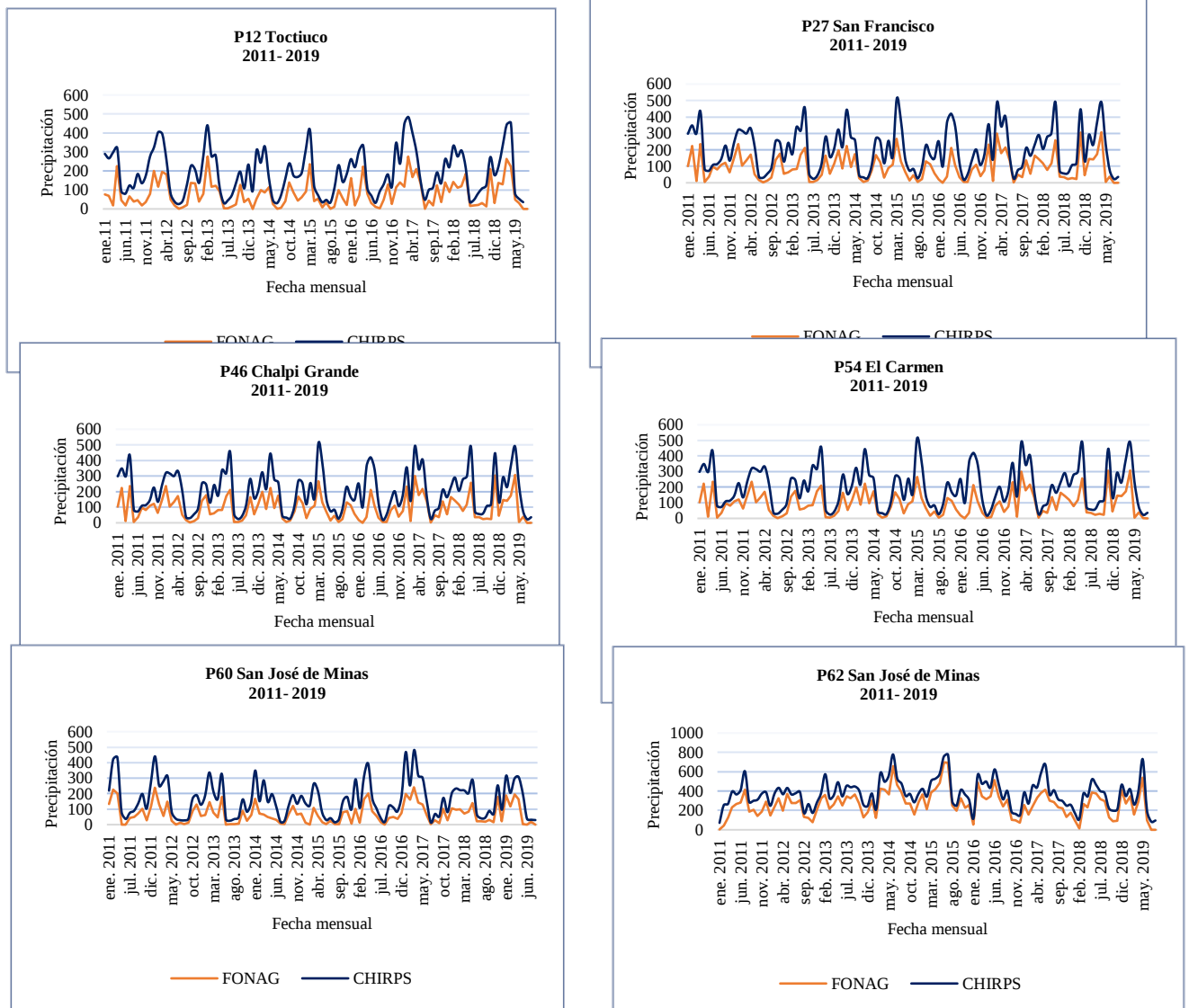
Tabla 4: Comparación entre los datos del FONAG-EPMAPS/ CHIRPS

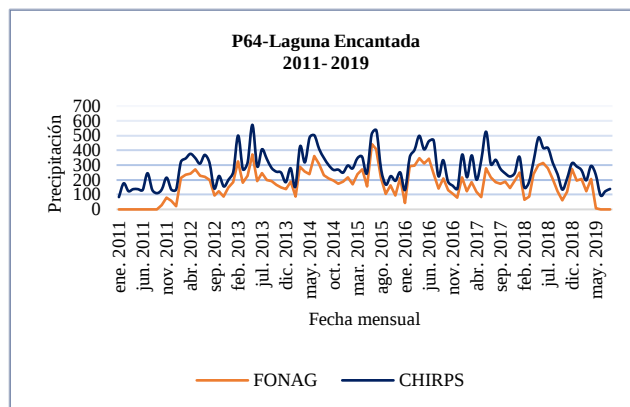
COMPARACIÓN ENTRE LOS DATOS DEL FONAG-EPMAPS/ CHIRPS								
CÓDIGO	ESTACIÓN	DATO MAX. (FONAG-EPMAPS)	DATO MAX (CHIRPS)	DATO MIN. (FONAG-EPMAPS)	DATO MIN. (CHIRPS)	DESV. FONAG	DESV. CHIRPS	PROMEDIO DE DIFERENCIACIÓN
p12	Toctiuco	96.3	140.84	0	0	6.3	9.2	0.97
p27	San Francisco	68.5	140.84	0	0	6.7	9.2	0.46
p46	Chalpi Grande	57.8	172.033	0	0	6.6	11.6	1.03
p54	El Carmen	49.2	70.487	0	0	4.9	7.2	0.84
p60	San José de Minas	59.9	97.804	0	0	5.4	8.7	0.73
p62	Blanco Chico Alto	101.1	115.307	0	0	11.8	8.9	5.52

Fuente: Base de datos CHIRPS / NOAA

Elaborado por: Autor

Figura 8: Comparación de la serie temporal de las estaciones metereológicas FONAG / EPMAPS vs CHIRPS 2011 – 2019





Fuente: Base de datos FONAG/EPMAPS 2011-2019/ CHIRPS 2011-2019

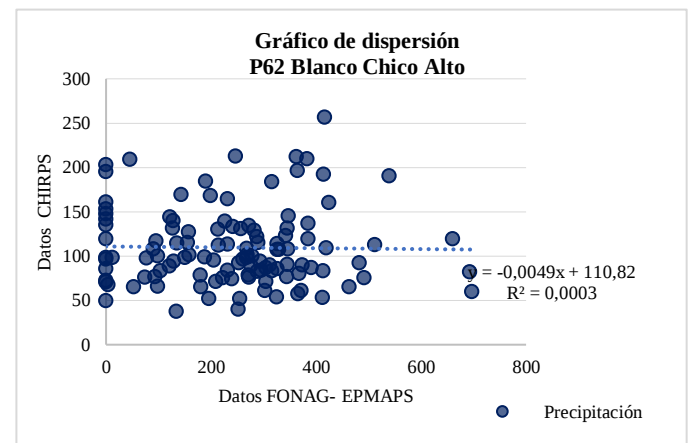
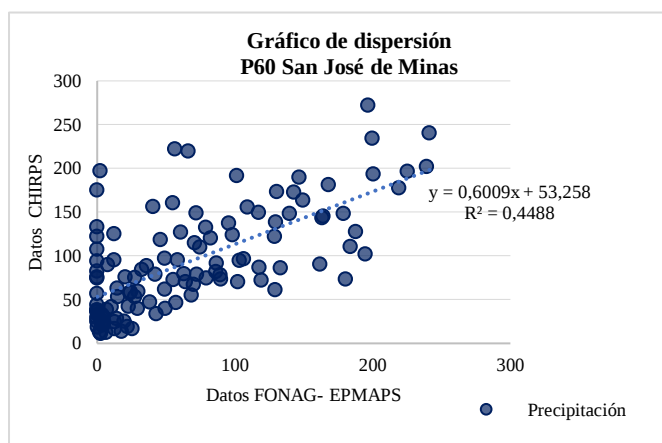
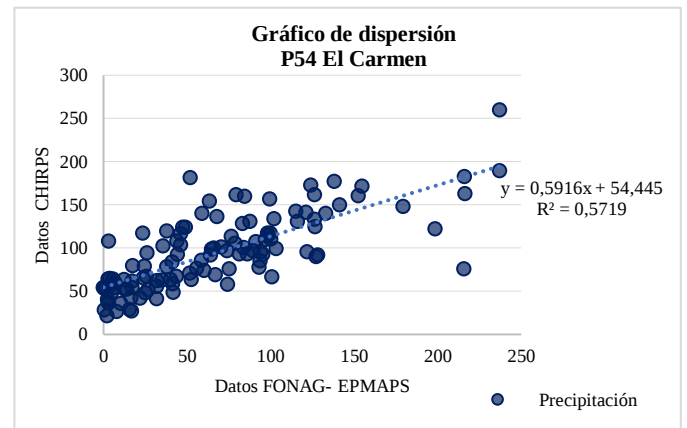
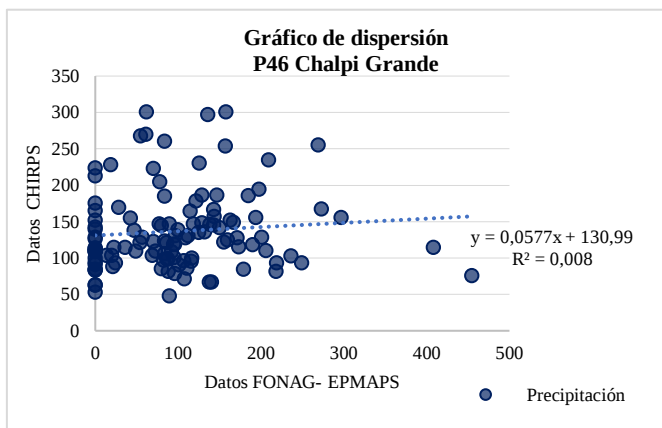
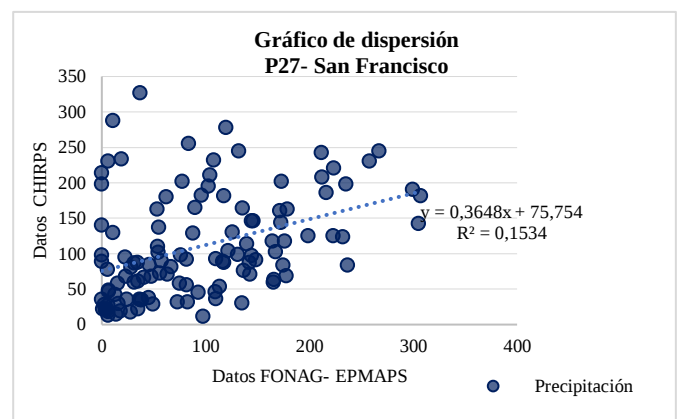
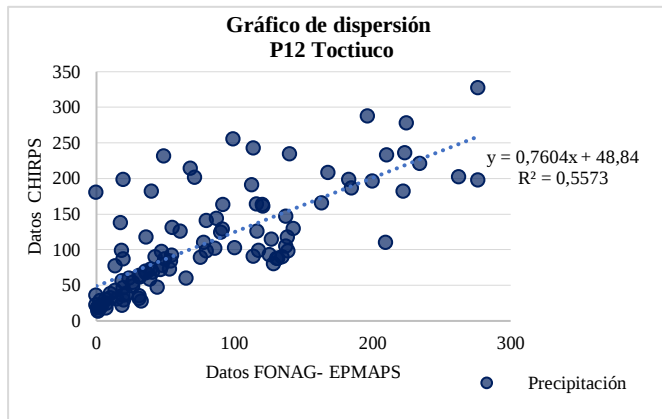
Elaborado por: Autor

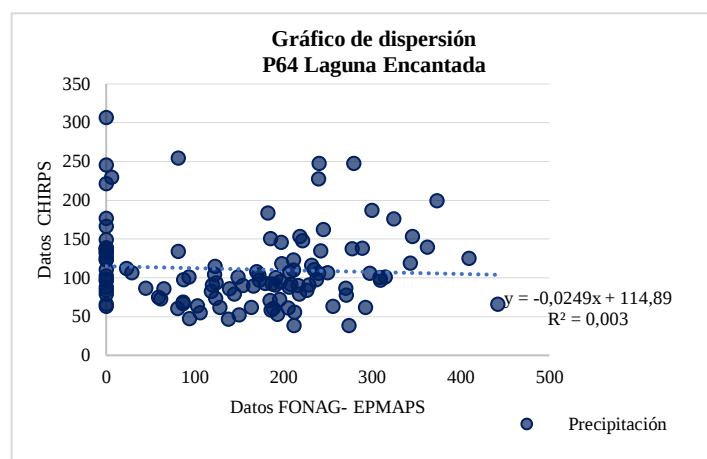
Así mismo, estos datos fueron comparados a través de gráficos de dispersión y se calculó el r cuadrado en todas las estaciones meteorológicas y se obtuvo valores entre 0.01 a 0.56, es importante recalcar que en algunas estaciones hay mayor dispersión en los datos y no son homogéneos lo cual implica que no hay buena correlación de datos y por lo tanto para hacer una aproximación por regresión lineal los datos de CHIRPS no son los más adecuados por ejemplo: las estaciones de Chalpi Grande (0.008 r^2), Blanco Chico Alto (0.0003 r^2), Laguna Encantada (0.003 r^2) y San Francisco (0.15 r^2) reflejan datos muy altos de FONAG/EPMAPS y valores muy bajos en CHIRPS, encontrando así inconsistencias.

Al contrario, para otras estaciones se tiene un r^2 relativamente bueno y estas son las estaciones de Toctiuco (0.5573 r^2), El Carmen (0.5719 r^2), y en menor medida en San Francisco (0.1534 r^2) esto quiere decir que podría ayudarnos los datos de CHIRPS a evaluar información faltante o tomar datos de CHIRPS en lugares cercanos a esta estación ya que es bastante coherente y consistente con la información.

Por último, los datos de CHIRPS en las zonas interandinas son más coherentes y tienen un r^2 más alto, mientras que en las estribaciones orientales no se observa una buena correspondencia.

**Figura 9: Comparación de la serie temporal de las estaciones
metereológicas FONAG / EPMAPS vs CHIRPS**





Fuente: Base de datos FONAG/EPMAPS 2011-2019/ CHIRPS 2011-2019

Elaborado por: Autor

Es importante mencionar que también se realizó la correlación lineal entre los índices para las regiones de El Niño y en función de la base de datos de CHIRPS, y en este análisis no se obtuvo una gran diferencia en la variabilidad de los datos.

Tabla 3: Coeficientes de correlación lineal entre índices para las regiones de El Niño y precipitación CHIRPS

ESTACIÓN	NIÑO 1+2						NIÑO 3						NIÑO 3 +4						NIÑO 4					
	O	N	D	E	F	M	O	N	D	E	F	M	O	N	D	E	F	M	O	N	D	E	F	M
Toctiucó	0.10	0.19	0.28	0.18	-0.05	0.14	0.02	0.00	0.13	0.13	0.06	0.14	-0.02	-0.08	0.08	0.11	0.07	0.13	-0.11	-0.2	-0.01	0.01	-0.01	0.00
San Francisco	0.10	0.18	0.27	0.17	-0.04	0.15	0.01	-0.01	0.11	0.12	0.07	0.13	-0.02	-0.09	0.07	0.10	0.08	0.13	-0.11	-0.2	-0.03	0.01	-0.01	0.00
El Carmen	0.09	0.11	0.23	0.13	-0.03	0.10	-0.01	-0.07	0.08	0.09	0.08	0.06	-0.05	-0.14	0.04	0.08	0.10	0.05	-0.14	-0.2	-0.04	0.00	0.04	-0.06
Chalpi Grande	0.05	0.07	0.22	0.05	-0.05	0.10	-0.03	-0.13	0.06	-0.01	0.15	0.09	-0.07	-0.20	0.01	-0.03	0.14	0.08	-0.15	-0.3	-0.07	-0.09	0.05	-0.05
San José de Minas	0.13	0.25	0.35	0.11	0.00	0.16	0.02	0.03	0.19	0.02	0.09	0.17	-0.02	-0.07	0.13	-0.02	0.10	0.15	-0.12	-0.2	0.00	-0.13	0.00	0.02
Blanco Chico Alto	0.04	0.08	0.17	0.09	0.06	0.13	-0.04	-0.10	0.02	0.05	0.16	0.09	-0.07	-0.18	-0.01	0.03	0.16	0.08	-0.13	-0.2	-0.06	-0.04	0.08	-0.04
Laguna Encantada	0.12	0.09	0.28	-0.01	0.08	0.11	0.01	-0.10	0.11	-0.05	0.17	0.11	-0.03	-0.17	0.06	-0.05	0.17	0.10	-0.12	-0.2	-0.02	-0.08	0.08	-0.02

Fuente: Base de datos CHIRPS / NOAA

Elaborado por: Autor

4. Discusión y conclusiones

La variabilidad del clima es una realidad, sin embargo, el desconocimiento total de las causas de los fenómenos hidrometeorológicos ha causado diferentes impactos en los territorios (Guil & López, 2011). Por ello el análisis de los datos de precipitación de las 7 estaciones meteorológicas ubicadas en la cuenca alta del río Napo y del río Guayllabamba es fundamental para conocer estos parámetros.

Al analizar las series temporales de la precipitación de las 7 estaciones meteorológicas estudiadas, el mes que tuvo mayor intensidad fue el mes de abril sin importar la ubicación de las estaciones, esto es debido a diferentes factores, entre ellos se puede mencionar: las características del relieve, la longitud, latitud que generan una gran

inestabilidad de las capas inferiores de la atmósfera, así mismo por encontrarse en la Zona de Convergencia Intertropical confluyen la presencia de los vientos alisios, que se encuentran sometidas a la confluencia de diferentes corrientes oceánicas. Por último, la presencia de la cordillera de los Andes cumple un papel fundamental en la génesis, aislamiento y en la repartición de las masas de aire que influyen directamente en la formación de las precipitaciones, mismos que son responsables de toda una secuencia altitudinal de topoclimas muy lluviosos o secos (Pourrout, Gomez, Bermeo, & Segovia, 1995).

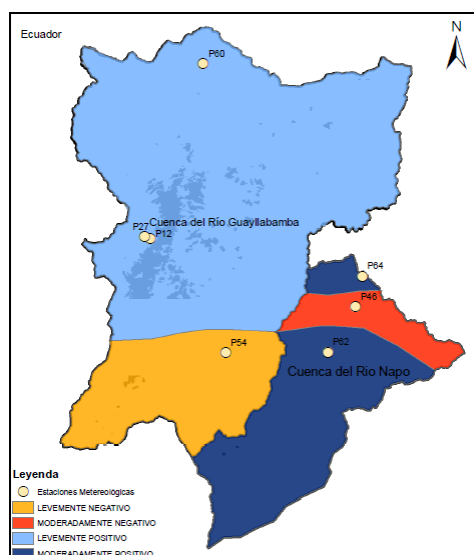
Es importante destacar, que la mayor cantidad de precipitación registrada de promedio anual de las 7 estaciones fue la estación de Blanco Chico Alto-P62 ubicado en la cuenca alta del río Napo estas precipitaciones se incrementan, desde la cordillera hacia la planicie amazónica y por ello los regímenes son más regulares que en los Andes (Pacheco, Montilla, Méndez, Delgado, & Zambrano, 2019).

En este sentido se analizó que el año que registró mayor precipitación fue en el 2017, específicamente en la estación P62, esto estuvo relacionado a que la Zona de Convergencia Intertropical se localizaba en Centroamérica, sin embargo este sistema en la última semana de diciembre del 2016 e inicios de enero del 2017, experimentó un desplazamiento hacia al sur, hasta ubicarse cerca de la línea equinoccial generando sistemas nubosos de gran desarrollo vertical, dando como resultado fuertes precipitaciones (Pacheco, Montilla, Méndez, Delgado, & Zambrano, 2019).

Por otro lado, la estación que registró menos precipitación fue la de San José de Minas-P60 posiblemente la razón es que, al poseer grandes extensiones de bosques vírgenes, existe una tala indiscriminada de este recurso, además de que el suelo se caracteriza por ser arenoso y por estar muy erosionados debido al viento, al agua, entre otros (Nicolalde, 2010). Es importante recalcar que es una zona caracterizada que no llega suficiente humedad, tiene un régimen bimodal es decir el estacional lluvioso y otro menos lluvioso; y tiene una diversidad de climas desde el subtropical húmedo de las cuencas hidrográficas hasta temperaturas muy frías de los páramos (GAD SAN JOSÉ DE MINAS, 2015)

Posteriormente cuando se realizó la comparación de la precipitación con el fenómeno El Niño en la región estudiada se puede observar que existen cuatro subregiones con diferentes regímenes de precipitación. En la parte del norte, centro y sur de la cuenca alta del río Napo y río Guayllabamba: la correlación es moderadamente negativa, levemente negativa, levemente positivo y moderadamente positivo respectivamente.

Figura 4: Corema: Coeficiente de correlación lineal entre índices para las regiones de El Niño



Fuente: Base de datos FONAG/EPMAPS 2000-2019/ IGM 2013

Elaborado por: Autor

Por otra parte, en las estaciones de Toctiuco, San Francisco y el Carmen existen valores moderadamente negativos, especialmente en diciembre, esto quiere decir que hay un déficit de precipitación, esto representaría un gran aporte ya que, si es que hay un aumento de temperatura en el mar, durante eventos cálidos como El Niño implicaría épocas de sequía en la región interandina impactando en la cantidad de cosechas, disminución de caudales para riego y/o consumo humano y para la propagación de incendios forestales.

Así mismo, marzo es un mes de correlación positiva sobre todo para las estaciones más cercanas a la costa pacífica, lo que implica un aumento de temperatura del mar y a su vez un aumento en las precipitaciones. Las correlaciones moderadamente positivas existen en las estaciones de Blanco Chico Alto y Laguna Encantada correspondientes a la cuenca alta del río Napo.

Igualmente, se hizo el análisis de correlación de la precipitación en función de las 4 regiones El Niño, usando la base de datos de CHIRPS y se pudo evidenciar que la variación de los datos fue muy leve y no se observó una diferenciación.

Cabe considerar, que cuando se realizó la comparación entre las dos bases de datos es importante concluir que si bien existen diferencias para las regiones interandina y las estribaciones puede resultar ser un insumo importante para caracterizar la precipitación en zonas que tienen poco o nulas estaciones de monitoreo.

Es importante identificar la variabilidad anual que hay entre las estaciones ya que esto nos permiten conocer mejor cómo funciona el régimen de precipitación y como el fenómeno El Niño tiene su repercusión en la región andina y en las estribaciones comprometiendo el recurso hídrico en un futuro, ya sea directamente a la población o a los ecosistemas.

Finalmente, se evidencia que las precipitaciones y El Niño, constituyen un fenómeno complejo y multifactorial que ocurre de forma periódica y constante en la geografía ecuatoriana, por ello conocer sus características en la evolución del tiempo es fundamental, aunque existan limitaciones con la información, porque desde la perspectiva de riesgo la prevención nos permite conocer el territorio e identificar los procesos generadores de riesgo y así tener una gestión territorial y ambiental adecuada.

BIBLIOGRAFÍA

- Buttafuoco, G., Caloiero, T., & Coscarelli, R. (2011). Patrones espaciales de variabilidad para campos de lluvia en diferentes escalas temporales: una aplicación en el sur de Italia. *European Water*.
- Secretaría de Territorio, Hábitat y Vivienda. (2012). *Plan Metropolitano de ordenamiento territorial*. Obtenido de [https://www.metrodequito.gob.ec/images/leydetransparencia/2015/Enero/s\)ACTAS_SESIONES_PLANES_DESARROLLO_LOCAL/LINKS/s2\)Unidad_3_BO_3PLAN_ORD_TERRITORIAL_MDMQ.pdf](https://www.metrodequito.gob.ec/images/leydetransparencia/2015/Enero/s)ACTAS_SESIONES_PLANES_DESARROLLO_LOCAL/LINKS/s2)Unidad_3_BO_3PLAN_ORD_TERRITORIAL_MDMQ.pdf)
- CRED , EM-DAT, & UNDRR. (2021). *2020-El año no-Covid en desastres*. Obtenido de <https://reliefweb.int/report/world/2020-non-covid-year-disasters-global-trends-and-perspectives>
- FAO. (2014). *Cordillera de Los Andes, una oportunidad para la integración y desarrollo de América del Sur*. Chile.
- GAD SAN JOSÉ DE MINAS. (2015). *Plan de ordenamiento territorial San José de Minas 2015-2019*.
- Guil, S., & López, F. (2011). *Tendencia de las precipitaciones y temperaturas en una pequeña cuenca fluvial del sureste peninsular semiárido*.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2014). *Metodología de la investigación*. México.
- IDEAM, Melo, J., Ruiz, J., & Subdirección de Meteorología Colombia. (2018). La variabilidad climática y el cambio climático en Colombia.
- Lagos, Silva, Nickl, & Mosquera. (2008). ¿El Niño? variabilidad de precipitación relacionada en Perú.
- Nicolalde, C. (2010). *Implementación de agroturismo en “la hacienda jatumpamba”, parroquia San José De Minas, Cantón Quito, Provincia Pichincha*.
- OMM. (2019). *Declaración de la OMM sobre el estado del clima mundial en 2019*.
- Pacheco, H., Montilla, A., Méndez, W., Delgado, M., & Zambrano, D. (2019). *Causas y consecuencias de las lluvias extraordinarias de 2017 en la costa ecuatoriana: el caso de la provincia Manabí*. Obtenido de <http://boletin.invemar.org.co:8085/ojs/index.php/boletin/article/view/830>
- Perdigon, D., González, J., Alarcon, A., & Ulloa, D. (2019). *Patrones de distribución temporal de lluvia ciclónica en Cuba estimada por el modelo WRF*.

- PNUD. (2019). *PNUD*. Obtenido de Ecuador está perdiendo sus nevados:
<https://www.ec.undp.org/content/ecuador/es/home/blog/2019/ecuador-esta-perdiendo-sus-nevados.html>
- Pomo, M., Jimenez , M., Usca , M., & Játiva, M. (2019). Determinación de la variabilidad climática mediante la aplicación de índices de cambio climático, provincia de Orellana. *Ciencia digital*.
- Pourrout, P., Gomez, G., Bermeo, A., & Segovia, A. (1995). Factores condicionantes de los regimenes climáticos e hidrológicos. En *El agua en el Ecuador : clima, precipitaciones, escorrentia*. Quito.
- Rau, P., & Otros. (2016). Regionalización de las precipitaciones sobre la vertiente y la costa del Pacífico Peruano. *Royal Metereological Society*.
- Secretaria de Seguridad, Alacaldia Quito, & Bomberos DMQ. (2015). *Atlas de amenazas naturales y exposición de infraestructura del Distrito Metropolitano De Quito*. Obtenido de
https://www.quito.gob.ec/Atlas_amenazas_naturales_DMQ.pdf
- Servicio Nacional de Gestión de riesgos. (2019). *Atlas: Espacios geográficos, expuestos a amenazas naturales y antrópicos*.
- SGR. (2014). *Amenaza en movimientos en masa*.
- Yates, D., Purkey, D., Flores, F., Forni, L., Estacio, J., Depsky, N., . . . Tehelen, K. (2013). Distrito Metropolitano de Quito: Análisis Integrado de Amenazas relacionadas con el cambio climático, aspectos naturales y socioeconómicos .