

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



TESIS

**ANÁLISIS DE TENDENCIAS DE TEMPERATURA Y
PRECIPITACIÓN PLUVIAL EN LA CUENCA DEL RÍO ILAVE**

PRESENTADO POR:

JULIO CESAR AGUILAR LIMA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGRÍCOLA

PUNO, PERÚ

2017

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



TESIS

**ANÁLISIS DE TENDENCIAS DE TEMPERATURA Y PRECIPITACIÓN
PLUVIAL EN LA CUENCA DEL RÍO ILAVE**

PRESENTADA POR:

JULIO CESAR AGUILAR LIMA

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

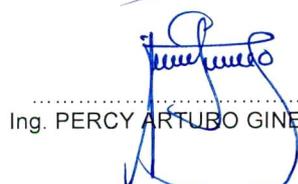
INGENIERO AGRÍCOLA

APROBADO POR EL JURADO CONFORMADO POR:

PRESIDENTE


.....
Dr. EDUARDO FLORES CONDORI

PRIMER MIEMBRO


.....
Ing. PERCY ARTUBO GINEZ CHOQUE

SEGUNDO MIEMBRO


.....
D. Sc. GERMAN BELIZARIO QUISPE

DIRECTOR DE TESIS


.....
M. Sc. OSCAR RAUL MAMANI LUQUE

AREA:
TEMA:
LINEA DE INVESTIGACION:

Ingeniería y Tecnología
Climatología
Recursos Hídricos

DEDICATORIA

*A nuestro Dios padre supremo,
simiente divino que habita en
nuestros corazones, por haberme
iluminado por el camino del bien.*

*A mis amados padres, Estanislao y
Rosa, dedico este esfuerzo, a ellos
que me forjaron e inculcaron valores
para poder cumplir mi sueño de ser
profesional.*

*A mis hermanos Percy y Arnol por
su apoyo incondicional, compañía
y comprensión, a mis abuelos que
siempre estuvieron pendientes de
los estudios que realizaba, a ti
abuelo Francisco que hoy desde el
cielo iluminas a los que te
recordamos y amamos.*

*A mis tesoros Yesi, quien siempre
supo guiarme por el camino correcto,
hijas Zhaire y Camil, quienes a pesar
de no entender muchas cosas
siempre me dieron su aliento y esa
sonrisa tan linda que me motiva a
seguir adelante, son la razón de mi
existir.*

Julio Cesar Aguilar Lima.

AGRADECIMIENTOS

A la UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO, en especial a la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola, mi alma mater por siempre, con su apertura me concedió a mí y a muchas generaciones más conceder a una educación de calidad, por haberme formado profesionalmente.

- A mi director de tesis, M.Sc. Oscar Raúl Mamani Luque, por su acertada dirección y especial conducción en el presente trabajo.

- A los jurados, Dr. Eduardo Flores Condori, Ing. Percy Arturo Ginez Choque, M.Sc. Oscar Raúl Mamani Luque, D. Sc. German Belizario Quispe, por sus valiosas experiencias, aporte y sugerencias.

- Hago extensivo mi gratitud, a toda mi familia, a mis tíos, primos, amigos, compañeros de estudios y compañeros de trabajo, que de una u otra manera han motivado y contribuido en la ejecución y culminación del presente trabajo.

- Por último, agradezco al SENAMHI, y PELT, por haberme brindado la información y la oportunidad de elaborar la presente tesis.

INDICE GENERAL

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
INDICE GENERAL	v
INDICE DE FIGURAS	viii
INDICE DE TABLAS	ix
INDICE DE ANEXOS.....	x
INDICE DE ACRÓNIMOS.....	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
INTRODUCCIÓN	1

CAPITULO I**PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

1.1. Descripción del problema.....	4
1.1.1. Problema general	5
1.1.2. Problemas específicos	5
1.2. Justificación de la investigación	5
1.3. Antecedentes de la investigación.....	6
1.4. Objetivos de la investigación.....	10
1.4.1. Objetivo general	10
1.4.2. Objetivos específicos.....	10
1.5. Hipótesis	11
1.5.1. Hipótesis general.....	11
1.5.2. Hipótesis específicas.....	11

CAPITULO II**REVISIÓN DE LITERATURA**

2.1 Marco teórico	12
2.1.1. La Cuenca Hidrográfica	12
2.1.2. Parámetros de una cuenca.....	13
2.1.3. Análisis de consistencia de las variables climáticas en estudio.....	15
2.1.4. Teoría de regresión y correlación	17
2.1.5. Tendencia.....	24
2.1.6. Análisis de tendencia de las variables climáticas en estudio.....	24
2.1.7. Calentamiento global.....	27
2.1.8. Cambio climático	28
2.1.9. Clima	29
2.1.10. Variables climáticas.....	34

CAPITULO III**MATERIALES Y METODOS**

3.1 Ubicación del ámbito de estudio	36
3.1.1 Vías de acceso:	37
3.1.2. Clima	38
3.2 Información meteorológica y equipos	38
3.2.1. Información meteorológica	38
3.2.1.1. Información de temperatura.....	38
3.2.1.2. Información de precipitación.....	39
3.2.2. Equipos (materiales de cómputo y otros)	39
3.2.2.1. Materiales y equipos de gabinete	39
3.3 Metodología	40

CAPITULO IV**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

4.1 Comportamiento temporal y espacial de la temperatura en la cuenca del río llave	48
4.1.1. Comportamiento temporal y espacial de las temperaturas	48
4.1.2. Proyección de comportamientos de temperatura media anual.....	52
4.1.3. Tendencias del comportamiento de las temperaturas	55
4.2 Comportamiento temporal y espacial de la precipitación fluvial en la cuenca del río llave	59
4.2.1. Comportamiento temporal y espacial de la precipitación pluvial	59
4.2.2. Proyección del comportamiento de precipitación media anual	64
4.2.3. Tendencias del comportamiento de la precipitación pluvial.....	65
CONCLUSIONES	70
RECOMENDACIONES.....	71
REFERENCIAS	72
ANEXO	79

INDICE DE FIGURAS

Figura 01: ubicación hidrográfica de la cuenca del río llave	37
Figura 02: serie histórico de temperaturas máximas mensuales	49
Figura 03: serie histórico de temperaturas mínimas mensuales	50
Figura 04: suma de los índices anuales del vector y las estaciones	51
Figura 05: índices anuales del vector regional de temperaturas medias y estaciones	52
Figura 06: evolución de la tendencia en la temperatura media	54
Figura 07: precipitaciones promedios mensuales de la serie (1964-2014)	60
Figura 08: suma de los índices anuales del vector y de las estaciones	62
Figura 09: índices anuales del vector regional de precipitaciones medias y estaciones	63
Figura 10: serie histórico de precipitación media mensual	64

INDICE DE TABLAS

Tabla 01: ubicación del ámbito de estudio.....	37
Tabla 02: temperaturas media observada y proyectada al año 2050 en la cuenca llave	53
Tabla 03: análisis de tendencia de temperatura media anual	56
Tabla 04: modelo de variables predictorias de temperatura media anual en la cuenca llave, 1994 - 2014.....	57
Tabla 05: modelo de variables predictorias de temperatura media anual en la cuenca llave, 1994 – 2014	57
Tabla 06: variables predictorias en las tendencias de temperatura media anual, 1994 - 2014.....	58
TABLA 07.....	65
Tabla 08: análisis de tendencia de precipitación media anual de la estación llave	66
Tabla 09: modelo de variables predictorias de precipitación media anual, 1964 - 2014	67
Tabla 10: modelo de variables predictorias de precipitación media anual, 1964 – 2014	68
Tabla 11: variables predictorias en las tendencias de precipitación media anual, 1964 - 2014.....	68

INDICE DE ANEXOS

Anexo A: ubicación en la vertiente del Titicaca	79
Anexo B: temperatura máxima mensual (C°)	80
Anexo C: temperatura media mensual (C°)	81
Anexo D: temperatura mínima mensual (C°)	82
Anexo E: mapa de análisis de temperatura al 2020	83
Anexo F: mapa de análisis de temperatura al 2050	85
Anexo G: mapa de análisis de precipitación al 2020	86
Anexo H: mapa de análisis de precipitación al 2050	87

INDICE DE ACRÓNIMOS

ANA	Autoridad Nacional del Agua
AGRORURAL	Programa de Desarrollo Productivo Agrario Rural
CONAM	Consejo Nacional del Ambiente.
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
CNCC	Comisión Nacional de Cambio Climático
CONCYTEC	Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.
DIGESA	Dirección General de Salud Ambiental
ENCC	Estrategia Nacional de Cambio Climático
FEN	Fenómeno “El Niño”.
FONAM	Fondo Nacional del Ambiente.
IPCC	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático.
INRENA	Instituto Nacional de Recursos Naturales
MEF	Ministerio de Economía y Finanzas
MINAGRI	Ministerio de Agricultura y Riego
MINAM	Ministerio del Medio Ambiente
PELT	Proyecto Especial Binacional Lago Titicaca
SENAMHI	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú

RESUMEN

En el trabajo de investigación se planteó como objetivo, determinar el comportamiento de la tendencia temperatura y precipitación pluvial en la cuenca del río de llave, a partir de las consecuencias del cambio climático, con la finalidad de conocer el efecto sobre las variables climáticas en la cuenca, en base de datos de temperatura y precipitación promedios anuales, para así establecer modelos de variación en relación al cambio climático, se han procesado datos con el análisis visual de hidrógramas, análisis de doble masa y análisis estadístico. Se determinó la variación de las temperaturas y precipitaciones medias mensuales en la cuenca del río llave, en donde el pronóstico en la variación de temperatura media en la zona baja es de 1 a 1.7 °C que representa una tendencia de incremento leve a significativa de temperatura, en la zona media presenta un ascenso moderado de temperatura de 1 °C, en la zona alta indica incremento de temperatura al año 2050; la variación de precipitación en la zona baja es de 143 a 154mm con evidencia de una tendencia moderado de incremento, en la zona media de 143 a 13mm con incremento a leve de lluvia, zona alta de 27 a -62mm se tendrá ausencia de lluvias al año 2050 en la estación de capazo, estos comportamientos se manifiestan en función a las cuatro estaciones del año calendario a su vez del año hidrológico.

PALABRAS CLAVE: Cambio climático, Temperatura, Precipitación pluvial.

ABSTRACT

This research work, it was proposed as aim to determine the behavior of the temperature tendency and precipitation pluvial in the river watershed of Ilave. Starting from the consequences of climate change, With the purpose of knowing the effect on the climatic variables in the watershed, in base to temperature data and Annual precipitation averages, so to establish models of variation in relation to climate change, the data were processed with the visual analysis of hydrographs, double mass analysis and statistical analysis. It was determined the variation of the monthly average temperatures and precipitations will be determined in the river watershed of Ilave, where the prognosis in the variation of average temperature in the low area is of 1 to 1.7 °C that represents a tendency of slight increase to Significant of temperature, in the middle area presents a moderate rise of temperature of 1 ° C, in the high area indicates increase of temperature to the year 2050; the variation of precipitation in the low area is of 143 to 154mm with evidence of tendency of moderate increase, in the middle area is of 143 to 13mm with slight increase of rain, in the high area is of 27 to - 62mm where there will be no rainfall to year 2050 in Capazo station, these behaviors are manifested in function of the four seasons of the calendar year in turn of the hydrological year.

KEYWORDS: Climate change, Temperature, Rainfall

INTRODUCCIÓN

La acumulación de calor producen desglaciaciones en los casquetes polares como en los nevados, cambio en el régimen de los vientos; causados principalmente por la acumulación en la atmosfera de gases de efecto invernadero emitidos por la quema de combustible fósiles en las ciudades industriales, como también por la deforestación en las junglas, así como los cambios de uso de las tierras; es decir más allá de cualquier duda razonable (Anderson, Doblas-Reyes, Balmaseda, & y Weisheimer, 2009).

Los recientes cambios en el clima, es una de las incertidumbres que toda sociedad debe enfrentar en su vida cotidiana, mediante complejos procesos de aprendizaje, adaptación y mitigación. Por lo tanto, los efectos del cambio climático sobre la temperatura y precipitación, pueden ser definidos como uno de los elementos que explican la diferenciación espacial de los paisajes naturales así como culturales; es evidente que los climas constituyen además recursos naturales en sí mismos, debido a los servicios ambientales que ofrecen, a los que derivan de sus características, especialmente en términos de acumulaciones de calor, precipitaciones, fuentes de agua, capacidad de los vientos para depurar a la atmósfera, entre otros, por lo tanto, la sociedad tiene que incorporar al clima en sus acciones cotidianas, como necesidad de enfrentar con éxito a los riesgos derivados de su variabilidad, como sequías, inundaciones, tormentas, olas de frío a su vez calor; además de disponer de la capacidad organizativa para distribuirlos socialmente en forma equitativa y justa. Si ello no ocurre, solo unos pocos tendrán acceso a los lugares climáticamente más seguros o bien podrán

emplear sus recursos como beneficios en función de sus propios intereses, agregando al clima como otro de los componentes de la inequidad social que define nuestra geografía (Ballinas, 2011).

En el presente trabajo se evaluó las evidencias del cambio climático en la cuenca del río llave, con el análisis de los efectos potenciales sobre la temperatura y precipitación pluvial, así como en los recursos hídricos, sobre la incidencia de los riesgos naturales, para ello se han recopilado importantes investigaciones que manifiestan la influencia de las variables climáticas, también se recabó información de la serie histórica de precipitaciones así como de las temperaturas desde 1964 hasta 2014, a fin de analizar las tendencias utilizando las test no paramétricas y paramétricas y la función pronóstico la tendencia lineal sobre la futura evolución de la temperatura y la precipitación de la cuenca del rio llave, en sus procesos de variación así como su degradación.

En consecuencia, de la cuenca del rio llave en estudio se pronostica la variación de temperatura media zona baja de 1 a 3 °C que representa una tendencia leve a significativa de temperatura, zona media de 2 °C lo que significa un moderado ascenso de temperatura, zona alta indica incremento de temperatura al año 2050; la variación de precipitación zona baja 260 a 279mm se evidencia una tendencia moderado, zona media de 260 a 24mm significa incremento a leve de lluvia, zona alta de 49 a -113mm se tendrá ausencia de lluvias al año 2050, por lo tanto, con el ascenso de la temperatura así como la insuficiente cantidad de precipitación, causa la baja disponibilidad de agua en los nacientes, manantiales como el descenso de la recarga de los acuíferos, lo cual estarían experimentando alteraciones que podrían estar repercutiendo en los más

sensibles génesis naturales de acuerdo a la tendencia señaladas, así como brotes de nuevos microorganismos, para lo cual se identificaron las zonas potencialmente que podrían ser afectadas por las alteraciones climáticas.

El presente trabajo, es un estudio de múltiples determinaciones, desde la óptica cualitativa sobre el tema de modelos como escenarios en cambio climático, a efectos de que las capacidades investigativas puedan desarrollar orientándose para los métodos de análisis de vulnerabilidad acorde a las consecuencias que se presentan en el altiplano puneño, a fin de aplicar medidas de adaptación más efectivas.

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción del problema

La cuenca llave, constituye un espacio geográfico con un significativo potencial de recursos naturales, los más importantes por su biodiversidad sin embargo, en los últimos años las manifestaciones de variación del clima ha causado un severo incremento en la temperatura global así como en el aire superficial, las concentraciones de gases de efecto invernadero, provocando alteración del ciclo hidrológico, por ende, el comportamiento de períodos de prolongada ausencia de lluvias, a su vez van en aumento las manifestaciones adversas por las lluvias ocasionales intensas, provocando la pérdida de suelo por la erosión así como la desertificación, elementos que son el sustento de todos los ecosistemas terrestres, por lo tanto, en el futuro por el posible cambio climático, la vulnerabilidad y las condiciones de vida en la cuenca llave, serían afectadas, principalmente la actividad agropecuaria que es el principal sustento de la población que dependen de las aguas provenientes de las lluvias, razón por el cual, es necesario atenuar los impactos negativos de eventos extremos y adaptarse al cambio climático es uno de los desafíos fundamentales al año 2050, para minimizar las pérdidas de vidas humanas, materiales así como las económicas del altiplano puneño (Díaz Padilla, y otros, 2008)

1.1.1. Problema general

¿Cómo son las tendencias de las temperaturas y precipitación pluvial en la cuenca del río llave?

1.1.2. Problemas específicos

¿Cómo es el comportamiento de los registros históricos de las temperaturas en la cuenca del río llave?

¿Cómo es el comportamiento de los registros históricos de las precipitaciones pluviales en la cuenca del río llave?

1.2. Justificación de la investigación

La limitada disponibilidad de agua, reducida vegetación, la variedad de fauna y la baja temperatura media, son las características más conocidas de la cuenca llave así como del altiplano puneño sin embargo, en los últimos años, los períodos de prolongada ausencia de lluvias, a su vez van en aumento las manifestaciones adversas por las lluvias ocasionales e intensas y la pérdida de suelos los cuales son muy importantes, elementos que son el sustento de todos los ecosistemas terrestres. Los ríos, bofedales, manantiales y los acuíferos enfrentan la amenaza de la pérdida del volumen de agua disponible, por la disminución de la precipitación (ANA, 2009).

Los ríos, manantiales, bofedales y los acuíferos enfrentan la amenaza de la pérdida del volumen de agua disponible, por la limitada precipitación pluvial a su vez la falta de los escurrimientos superficiales; lo abrupto de la topografía en las zonas altas de la cuenca, así mismo sus extensas planicies convierten su gestión

sustentable en un problema difícil de regular y controlar para su uso sostenido a su vez eliminar los efectos nocivos de su exceso, causa frecuente de los desastres naturales (ANA, 2009).

En la cuenca llave, una de las consecuencias directas del cambio climático, es que la variación de la temperatura media puede provocar una variación en los patrones de lluvias, consecuentemente el escurrimiento en los cauces y las recargas en los acuíferos, afectando así la disponibilidad de agua para el ecosistema, la agricultura y la ganadería.

Los datos obtenidos de la temperatura, precipitación pluvial del SENAMHI e información geográfica del PELT, sirvieron para analizar el posible impacto del cambio climático en los elementos termo-pluviométricos, el grado de vulnerabilidad que serían afectadas en la biodiversidad, la producción agropecuaria, infraestructura económica a su vez social en la cuenca de llave.

1.3. Antecedentes de la investigación.

A lo largo de la historia de la humanidad, los efectos del cambio climático han modificado los paisajes como las actividades humanas, desde los inicios de la era industrial (1750) se utilizó la combustión masiva de energías fósiles (carbón, gas, petróleo), lo cual estamos experimentando un considerable aumento de concentraciones de gases de efecto invernadero, incluyendo la concentración del dióxido de carbono (CO₂) en la atmósfera (IPCC, 2007).

La concentración creciente de GEI conduce a la alteración radiactiva relevante del planeta. Según el Quinto informe del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) la temperatura de

la superficie de la Tierra se ha incrementado en 0.85°C durante el siglo XX, atribuido principalmente al efecto invernadero antrópico. En el futuro el IPCC a partir del año 2007 predijo que la temperatura global del planeta aumentará en 1.1°C a 6.4°C en el año 2100, relativo al período 1980 - 1999 según los distintos escenarios y modelos utilizados. (IPCC, 2007).

El Perú tiene una extensión de $1'285,215 \text{ Km}^2$ de área, conformadas de 159 cuencas denominadas unidades hidrográficas las que conforman tres grandes vertientes: vertiente del pacífico con 21.80% del territorio con 62 cuencas, vertiente del Atlántico con 74.60% del territorio con 84 cuencas y vertiente del Titicaca 3.60% del territorio con 13 cuencas, también tiene 35 climas así como 84 zonas de vida (Ministerio del Ambiente, 2013).

Los cuales, el país concentra el 71.0% de los glaciares tropicales de los Andes, habiéndose registrado un total de 3,044 glaciares equivalente a $2,042 \text{ Km}^2$ de extensión y $56,151 \text{ Km}^3$ de volumen de agua, dichos casquetes de hielo se están derritiendo en forma progresiva como acelerada, estimándose que en un lapso de diez a quince años la mayoría de ellos habrán desaparecido con ello dejado de aportar el agua resultante de su fusión; cuyos efectos perversos guardan relación directa, con el incremento de la temperatura media del planeta ésta, con la emisión de gases efecto invernadero (CONAM, 2005).

Para Ballinas, (2011), en efectos del cambio climático en el escurrimiento natural superficial de la cuenca del sistema hidroeléctrico del río Grijalva. El cálculo del escurrimiento se llevó a cabo con la NOM-011- CNA-2000, la cual representa un método práctico para el cálculo de escurrimientos. Con este método se pueden

elaborar estudios completos obteniendo la disponibilidad hídrica en la república mexicana, por lo cual este método se convierte en una herramienta invaluable para la planeación en cuanto al uso del recurso hídrico hacia el futuro, los resultados presentados en este estudio marcan una tendencia hacia la disminución del escurrimiento medio anual debido a que la precipitación tiende a decrecer con el tiempo. La precipitación para los escenarios A1B y A2 presenta una disminución del 2 – 17% hasta el año 2100. En cuanto al escurrimiento para dichos escenarios, la disminución esperada será del 4 – 19% hasta el año 2100.

De acuerdo con los resultados mostrados se sabe que a medida que el tiempo trascorra la precipitación y el escurrimiento disminuirán, mientras que la población podría seguir aumentando, lo que incrementaría la demanda del consumo de agua haciendo más vulnerables a diversas zonas del país ante los efectos del cambio climático. La cuenca del río Grijalva, conforme al panorama en la precipitación y el escurrimiento, será una zona menos vulnerable debido a la abundancia del recurso en la cuenca, sin embargo, son previsible efectos de importancia en la generación de energía hidroeléctrica.

Revista Peruana Geo-Atmosférica RPGA (1), 134-149 (2009) Janeet Sanabria, Escenarios de Cambio Climático con Modelos Regionales sobre el Altiplano Peruano. El modelo HadRM3 consiguió presentar errores menores que los otros modelos, sin embargo este modelo aún presenta inconvenientes en simular la precipitación en la zona de transición (-13.5°S a -14°S) entre los Andes y la Amazonía donde el gradiente topográfico es acentuado. En el futuro 2071 – 2100, el modelo HadRM3 fue el que proyectó la precipitación, simulando en un escenario extremo A2 incrementos de hasta 2mm/día principalmente en la época

lluviosa (SON y DEF), y en un escenario moderado B2 similares al patrón actual. Y la media de los modelos HadRM3 y el ETA CSS fueron los que proyectaron la temperatura, en los escenarios A2 y B2 simularon incrementos entre 2°C a 4°C, más aún localizada mente al norte de lago simularon incrementos de hasta 6°C.

Vergara (2011), concluye, que el empleo de la triangulación metodológica en el análisis de la percepción permite que se trate desde diferentes ángulos. Las encuestas, el taller y las entrevistas son técnicas que se han complementado adecuadamente y han enriquecido la investigación. Tanto esta metodología como la desarrollada en el análisis de la variabilidad climática en el presente estudio, es replicable y accesible. Evidentemente los estudios que buscan identificar los impactos y las medidas de adaptación frente al cambio climático, deben ser locales y comparables con otros estudios. Esto se evidencia en la caracterización climática, pues a pesar de que el área de estudio es una zona relativamente pequeña, el comportamiento del clima es diferente entre estaciones, como en el caso de los años secos y lluviosos. Por ello, el estudio de la variabilidad no puede ser generalizado para grandes áreas de estudio, como es el caso de la cuenca del río Santa.

Belizario (2012), manifiesta que existe una relación directa entre el calentamiento global y los elementos climáticos en la vertiente del lago Titicaca, por que presentan variaciones en el tiempo, así como las descargas de los ríos afluentes. Donde las temperaturas medias anuales varían entre 8.2°C a 9.2°C en el norte y 1.9°C isla Taquile, llegando en el norte a un máximo de 25.5°C y sur 26°C en invierno, y estas varían en el tiempo con tendencia al incremento de 0.83°C. El promedio anual de humedad relativa es de 54%, con variación desde 42 a 70%,

con comportamiento inverso a la temperatura; la evaporación es muy alta con tendencia al incremento, fluctuando en promedio de 1450 mm en las cercanías y mismo lago, a 1900 mm por el sur. Mientras que la radiación solar varía entre 462 cal/cm²* día en el norte y 518 cal/cm²*día al sur, esta cambia significativamente en el transcurso del año. La distribución espacial de la precipitación media anual, tiene un patrón decreciente de norte a sur, en general varía de 200 a 1400 mm/año, con valores máximos sobre el lago Titicaca, debido a la influencia propia de la gran masa de agua lacustre, las zonas más lluviosas se encuentran en las cabeceras de los ríos Coata 151 días de lluvias, y Ramis con valores entre 800 a 1000 mm, ésta disminuye paulatinamente hacia el sur hasta 40 días de lluvia en la región del altiplano.

1.4. Objetivos de la investigación.

1.4.1. Objetivo general.

- Determinar las tendencias de las temperaturas y precipitación pluvial en la cuenca del río llave.

1.4.2. Objetivos específicos.

- Determinar el comportamiento de los registros históricos de las temperaturas en la cuenca del río llave.
- Determinar el comportamiento de los registros históricos de las precipitaciones pluviales en la cuenca del río llave.

1.5. Hipótesis.

1.5.1. Hipótesis general.

- Las tendencias de las temperaturas y precipitación pluvial muestra comportamientos positivos de las series históricas de las estaciones en la cuenca del río llave.

1.5.2. Hipótesis específicas

- Las series históricas de las temperaturas muestran comportamientos positivos en el tiempo en la cuenca del río llave.
- Las series históricas de las precipitaciones pluviales muestran comportamientos negativos en el tiempo en la cuenca del río llave.

CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Marco teórico.

2.1.1. La Cuenca Hidrográfica.

Una cuenca hidrográfica es entonces la superficie de drenaje natural, donde convergen las aguas que fluyen a través de valles y quebradas, formando de esta manera una red de drenajes o afluentes que alimentan a un río.

Las cuencas son áreas naturales que recolectan y almacenan el agua producto de las precipitaciones pluviales que utilizamos para el consumo humano y animal, para los sistemas de riego agrícola, para dotar de agua a las ciudades y hasta para producir la energía eléctrica que alumbramos nuestros hogares. Por eso, la preservación de las cuencas hidrográficas es un factor importante para el desarrollo integral de nuestras vidas y de los seres vivos en general (Belizario, 2014).

Dourojeanni, (1998), afirma, que es un área físico geográfico debidamente en donde las aguas superficiales y subterráneas vierten a una red natural mediante uno o varios cauces de caudal continuo o intermitente que fluyen a la vez en un curso mayor que desemboca en un río principal, lago o directamente en el mar, en esta área definida habitan los hombres animales y plantas que generan diferentes ecosistemas (naturales y artificiales) los cuales están caracterizados por un conjunto de relaciones que identifican a cada uno de ellos; igualmente la

interacción entre dichos ecosistemas genera una serie de actividades productivas que buscan mejorar la calidad de vida del hombre.

Según Aparicio (1993), la cuenca es una zona de la superficie terrestre en donde (si fuera impermeable) las gotas de lluvia que caen sobre ella tienden a ser drenadas por el sistema de corrientes hacia un mismo punto de salida. Además indica que se entiende por cuenca hidrográfica, hoya hidrográfica, cuenca de drenaje el territorio drenado por un único sistema de drenaje natural, es decir, que drena sus aguas al mar a través de un único río, o que vierte sus aguas a un único lago endorreico. Una cuenca hidrográfica es delimitada por la línea de las cumbres, también llamada divisoria de aguas. Una cuenca hidrográfica es un área de terreno que drena agua en un punto común, como un riachuelo, arroyo, río o lago cercano. Cada cuenca pequeña drena agua en una cuenca mayor que, eventualmente, desemboca en el océano.

2.1.2. Parámetros de una cuenca.

Mejía (2011), las características físicas y funcionales de una cuenca hidrográfica pueden ser definidas como los diversos factores que determinan la naturaleza de la descarga de un curso de agua. El conocimiento de esas características es muy importante por las siguientes razones:

2.1.2.1. Límite de la cuenca.

Toda cuenca está limitada por una línea formada por los puntos de mayor nivel topográfico, llamada divisoria, que divide las precipitaciones que caen en cuencas vecinas y que encamina la escorrentía superficial resultante para uno y otro sistema fluvial. La divisoria sigue una línea rígida alrededor de la cuenca,

atravesando el curso de agua solamente en el punto de salida y uniendo los puntos de cota máxima entre cuencas, lo que no impide que en el interior de una cuenca existan picos aislados con cotas superiores a algunos puntos de la divisoria.

2.1.2.2. Área de drenaje.

Una cuenca tiene su superficie perfectamente definida por su contorno y viene a ser el área drenada comprendida por su contorno y viene a ser el área drenada comprendida desde la línea de división de las aguas (divisortium acuarium), hasta el punto convenido (estación de aforos, desembocadura, etc.). Para la determinación del área de la cuenca es necesario previamente delimitar la cuenca. Trazando la línea divisoria; esta línea tiene las siguientes particularidades: debe seguir las altas cumbres, debe cortar ortogonalmente a las curvas del nivel, no debe cortar ninguno de los causes de la red de drenaje. El área de la cuenca o área de drenaje es el área plana (proyección horizontal) comprendido dentro del límite o divisoria de aguas. El área de la cuenca es el elemento básico para el cálculo de las otras características físicas y es determinado, normalmente, con planímetro y expresado en km^2 o hectáreas. Es importante mencionar que cuencas hidrográficas con la misma área pueden tener comportamientos hidrológicos completamente distintos en función de los otros factores que intervienen.

2.1.2.3. Forma de la cuenca.

La forma superficial de una cuenca hidrográfica es importante debido a que influye en el valor del tiempo de concentración, definido como el tiempo

necesario para que toda la cuenca contribuya al flujo en la sección en estudio, a partir del inicio de la lluvia o, en otras palabras, tiempo que tarda el agua, desde los límites de la cuenca, para llegar a la salida de la misma. En general las cuencas hidrográficas de grandes ríos presentan la forma de una pera, pero las cuencas pequeñas varían mucho de forma, dependiendo de su estructura geológica.

Existen varios índices utilizados para determinar la forma de las cuencas, buscando relacionarlas con formas geométricas conocidas; así el coeficiente de compacidad la relaciona con un círculo y el factor de forma con un rectángulo.

2.1.3. Análisis de consistencia de las variables climáticas en estudio.

Aliaga (1983), la inconsistencia es el sinónimo de error sistemático (natural y artificial) y se presenta como saltos y tendencias, y no homogeneidad es definido como cambios de los datos vírgenes con el tiempo, así por ejemplo la no homogeneidad de la precipitación son datos por tres fuentes principales:

- a) Movimiento de las estaciones en una distancia horizontal,
- b) Movimiento de una distancia vertical y
- c) Cambios en el medio ambiente de una estación como árboles, construcción de una casa, entre otros.

Villón (2001), menciona que el hidrólogo o especialista que desea desarrollar un estudio hidrológico debe buscar la información de la cuenca en estudio en las instituciones encargadas de su recopilación, pero una vez obtenido ésta, una de las interrogantes que se debe hacer, ¿es confiable la información disponible?

La respuesta a esta pregunta, se obtiene realizando un análisis de consistencia de la información disponible mediante criterios físicos y métodos estadísticos que

permitan identificar, evaluar y eliminar los posibles errores sistemáticos que han podido ocurrir, sea por causas naturales u ocasionadas por la intervención de la mano del hombre.

La no homogeneidad e inconsistencia, son los causales del cambio a que están expuestas las informaciones hidrológicas, por lo cual su estudio es de mucha importancia para determinar los errores sistemáticos que puedan afectarlas.

Inconsistencia es sinónimo de error sistemático y se presenta como saltos y tendencias, y no homogeneidad es definido como los cambios de datos vírgenes con el tiempo.

La no homogeneidad en una serie de tiempo hidrológico, se debe a factores humanos (tala indiscriminada de una cuenca, construcción de estructuras hidráulicas, etc.) o a factores naturales de gran significación, como los desastres naturales (inundaciones, derrumbes, etc.).

La inconsistencia de una serie de tiempo, está dada por la producción de errores sistemáticos (déficit de toma de datos, cambio de estación de registro, etc.).

Esta inconsistencia y no homogeneidad se pone de manifiesto con la presencia de saltos y/o tendencias en las series hidrológicas afectando las características estadísticas de dichas series, tales como la media, desviación estándar y correlación serial.

El análisis de consistencia de la información, es el proceso que consiste en la identificación o detección, descripción y remoción de la no homogeneidad e inconsistencia de una serie de tiempo hidrológica.

2.1.4. Teoría de regresión y correlación.

2.1.4.1. Teoría de Regresión.

Weiers (2008), indica que, el tipo de correlación debe ser analizado en el diagrama de dispersión en base a la forma que toma la curva de la función y a la relación entre las variables. Cuando el análisis se basa en el estudio de dos variables se denomina correlación simple, cuando se analizan más variables se las denomina correlación múltiple.

En términos de estadística los conceptos de regresión y ajuste con líneas paralelas son sinónimos lo cual resulta estimar los valores de la variable dependiente (Y) correspondiente a los valores dados de la variable independiente (X), por lo que si se estima el valor de “Y” a partir de “X” decimos que se trata de una curva de regresión de “Y” sobre “X”. Ejemplo, la precipitación depende de la humedad relativa.

2.1.4.2 Modelo de regresión múltiple.

Harnett y Murphy (1980), afirman que, si disponemos de una muestra de n observaciones de cada una de las m variables. El problema consiste en determinar la ecuación de regresión muestra con el “mejor ajuste” a estos datos, y usar los coeficientes de esa ecuación como estimaciones de los parámetros de la ecuación de regresión poblacional. La ecuación muestra para la regresión múltiple es:

$$\bar{y} = a + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_mx_m$$

El valor de \bar{y} es la estimación de μ_y . X_1, X_2, \dots, X_m ; a es la estimación de α y b_1, b_2, \dots, b_m son las estimaciones de los coeficientes de regresión parcial $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m$.

2.1.4.3. Correlación lineal simple.

Rincón (2005) indica que, si sabemos que existe una relación entre una variable denominada dependiente y otras denominadas independientes (como por ejemplo las existentes entre: la experiencia profesional de los trabajadores y sus respectivos sueldos, las estaturas y pesos de personas, la producción agraria y la cantidad de fertilizantes utilizados, etc.), puede darse el problema de que la dependiente asuma múltiples valores para una combinación de valores de las independientes.

La dependencia a la que hacemos referencia es relacional matemática y no necesariamente de causalidad. Así, para un mismo número de unidades producidas, pueden existir niveles de costo, que varían empresa a empresa.

Si se da ese tipo de relaciones, se suele recurrir a los estudios de regresión en los cuales se obtiene una nueva relación pero de un tipo especial denominado función, en la cual la variable independiente se asocia con un indicador de tendencia central de la variable dependiente. Cabe recordar que en términos generales, una función es un tipo de relación en la cual para cada valor de la variable independiente le corresponde uno y sólo un valor de la variable dependiente.

2.1.4.4. Regresión simple y correlación.

Rincón, (2005) menciona que, la regresión y la correlación son dos técnicas estadísticas que se pueden utilizar para solucionar problemas comunes.

Muchos estudios se basan en la creencia de que es posible identificar y cuantificar alguna relación funcional entre dos o más variables, donde una variable depende de la otra variable.

Se puede decir que y depende de x , en donde Y y X son dos variables cualquiera en un modelo de regresión simple.

“ y es una función de x ”

$$y = f(x) = a + bx$$

- como y depende de x ,
- y es la variable dependiente, y
- x es la variable independiente.

En el modelo de regresión es muy importante identificar cuál es la variable dependiente y cuál es la variable independiente.

En el modelo de regresión simple se establece que Y es una función de sólo una variable independiente, razón por la cual se le denomina también regresión divariada porque sólo hay dos variables, una dependiente y otra independiente y se representa así:

$$y = f(x)$$

“ y está regresando por x ”

La variable dependiente es la variable que se desea explicar, predecir.

La variable independiente x se le denomina variable explicativa ó regresor y se le utiliza para explicar y .

Análisis estadístico: Regresión lineal simple.

Rincón, (2005) indica que, el estudio de la relación funcional entre dos variables poblacionales, una variable X , llamada independiente, explicativa o de predicción

y una variable Y, llamada dependiente o variable respuesta, presenta la siguiente notación:

$$y = a + b x + e$$

Dónde:

a = Es el valor de la ordenada donde la línea de regresión se intercepta con eje Y.

b = Es el coeficiente de regresión poblacional (pendiente de la línea recta)

e = Es el error

Suposiciones de la regresión lineal

1. Los valores de la variable independiente x son fijos, medidos sin error.
2. La variable "Y" es aleatoria.
3. Para cada valor de x, existe una distribución normal de valores de y (subpoblaciones y)
4. Las variancias de las subpoblaciones Y son todas iguales.
5. Todas las medias de las subpoblaciones de Y están sobre la recta.
6. Los valores de Y están normalmente distribuidos y son estadísticamente independientes.

2.1.4.5. Coeficiente de correlación.

Ibáñez, (2010) asevera que, la correlación viene del Latín cum: con y relatus: relacionado, la correlación lineal permite medir si hay asociación entre dos variables o medir la intensidad de dicha asociación. Para ello es importante que la muestra bivariado sea tomada al azar, tanto para la variable X como para la variable Y.

El coeficiente de correlación de Pearson, se ajusta al tipo de información cuantitativa, esto con la finalidad de detectar y medir la asociación entre variables o de razón. Los valores del coeficiente de correlación oscilan entre +1 y -1, y se explica de la siguiente manera:

- El valor de $r = +1$, indica una correlación positiva perfecta o correlación directa, cuando al aumentar o disminuir el valor de la variable independiente, aumenta o disminuye también el valor de la variable dependiente (pendiente positiva).
- El valor de $r = -1$, expresa una correlación inversa o relación negativa perfecta: cuando al aumentar o disminuir el valor de la variable independiente, disminuye o aumenta el valor de la variable dependiente (pendiente negativa).
- El valor de $r = 0$, indica la ausencia de correlación, es decir las dos variables no están correlacionadas o relacionadas.

El coeficiente de correlación está dado por:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - n \bar{x} \bar{y}}{\sqrt{\left[\sum_{i=1}^n x_i^2 - n \bar{x}^2 \right] \left[\sum_{i=1}^n y_i^2 - n \bar{y}^2 \right]}}$$

Los rangos del coeficiente de correlación, se pueden interpretar haciendo uso de las siguientes expresiones:

$r = 0.2$ á $r = 0.3$ Coeficiente de correlación muy bajo.

$r = 0.4$ á $r = 0.5$ Coeficiente de correlación bajo.

$r = 0.6$ á $r = 0.7$ Coeficiente de correlación alto.

$r = 0.8$ á $r = 1.0$ Coeficiente de Correlación muy alto.

2.1.4.6. El método del vector regional (MVR).

El vector regional es modelo simple orientado al análisis de la información pluviométrica de una región y a la síntesis de esa información. Este método fue desarrollado por el IRD (Instituto de Investigación para el Desarrollo) en los años 70 con el objetivo de homogenizar los datos pluviométricos. Se elaboraron dos métodos para el cálculo del vector regional uno por G. Hiez y Y. Brunet Moret. (www.ird.fr).

El VR crea un vector de índices anuales o mensuales (individualmente) de precipitación y Temperatura en base, que toma efectos de la tendencia de la serie, donde se calcula los límites de confianza (superior e inferior), que nos indica año húmedo o déficit de lluvia.

Este método permite representar la información pluviométrica regional bajo la forma de índices anuales representativos de las precipitaciones en esa región y por coeficientes característicos de cada punto de observación. Así mismo es posible usar este método para otros parámetros con la condición que sean relativamente independientes entre sí de un año a otro, y que sean pseudo-proporcionales, es decir que los datos de las diferentes estaciones varíen en el mismo sentido y en proporciones casi idénticas, con variaciones ligeras debidas al ruido de fondo.

El método de G. Hiez está basado en el cálculo de la moda, mientras que el de Brunet Moret se basa en el promedio, eliminando los valores demasiado alejados del promedio. Cada método estima una media extendida para cada estación sobre el período de trabajo y calcula los índices anuales de cada estación.

El método clásico de crítica de datos anuales consiste en efectuar análisis de dobles masas entre los valores de las estaciones tomadas dos a dos, para detectar eventuales heterogeneidades, y luego completar datos faltantes por correlación con los datos de la estación y de sus vecinas.

El método del vector regional consiste en elaborar, a partir de la información disponible, una especie de estación ficticia que sea representativa de toda la zona de estudio. Para cada estación se calcula un promedio extendido sobre todo el período de estudio, y para cada año, se calcula un índice. (>1 año con superávit, <1 año deficitario). A esta serie de índices anuales se le llama vector regional, ya que toma en cuenta la información de una región que se supone es climáticamente homogénea.

Este método también puede aplicarse a datos mensuales, tratando separadamente cada uno de los meses del año como si se tratara de un valor anual.

Una vez elaborado el vector regional, el análisis de la información es enormemente facilitada, así podemos:

Evaluar la calidad de los datos de una estación por curvas de dobles acumuladas con los índices del vector regional.

Analizar gráficamente y correlacionar los datos de una estación con los índices del vector regional.

Evaluar los datos faltantes de una estación multiplicando el índice de un año del vector regional por el promedio extendido de la estación sobre el período de estudio.

La calidad del vector regional depende de la calidad de los datos de entrada. Aunque los algoritmos utilizados por los dos métodos intentan minimizar la influencia de los datos erróneos, el vector calculado al comienzo sigue contaminado por los errores que existen en los datos de las estaciones. Sólo de manera iterativa, eliminando los datos visiblemente imaginarios y corrigiendo poco a poco los errores más evidentes sobre los datos de entrada, se llegará a un vector regional de buena calidad.

2.1.5. Tendencia.

Villón (2002), son aquellos valores que tienden a sintetizar o servir de una descripción promedio del conjunto de datos, cuya finalidad es presentar un individuo o conjunto que pueda considerarse como el representativo de la distribución.

2.1.6. Análisis de tendencia de las variables climáticas en estudio.

Aliaga (1983), las tendencias son comportamientos determinísticos transitorias que se definen como un cambio sistemático y continuo sobre una muestra de información hidrometeorológicas en cualquier parámetro de la misma, que afectan a las distribuciones y dependidas de las series. Por ejemplo si hay un cambio ascendente o descendente en la temperatura, precipitación, evaporación entonces se produce una tendencia.

Las propiedades más importantes de las tendencias son:

- ✓ Las tendencias no son esperadas a repetirse por sí mismas en la misma forma y con las mismas propiedades.
- ✓ Las tendencias pueden ser lineales o no lineales, por lo que cualquier función continua de tendencias no lineales, puede ser representado en series de potencia.
- ✓ Se pueden separar de las otras componentes (periódicos, aleatorias) de la serie, lo que hace posible removerlas y/o incorporarlas.
- ✓ Pueden existir en cualquier parámetro de una serie, media, varianza, coeficiente de auto correlación, y en parámetros de alto orden; pero por lo general las tendencias se presentan únicamente en la media, si la información es anual, y en la media y desviación estándar si la información es mensual.

La tendencia es un efecto prolongado del comportamiento general de una serie en el tiempo. La forma de la línea general de tendencia puede ajustarse a una recta o a una curva, y puede ser ascendente (creciente), estacionaria (sin variación significativa), o descendente (decreciente).

2.1.6.1 Serie temporal.

Es un grupo de datos observados de una variable, ordenada según transcurre el tiempo. Estas series permiten el análisis de patrones de comportamiento, secuencia de eventos en el tiempo y permite estimar su evolución en el futuro cercano.

2.1.6.2. Test estadísticos.

Las gráficas de series en el tiempo son una herramienta visual de gran utilidad para análisis de tendencia o cambio. El punto de partida de una prueba

estadística es definir una hipótesis nula H_0 y una hipótesis alterna H_1 . Por ejemplo, para comprobar la evolución de la media de una serie de tiempo, H_0 sería que no hay ningún cambio en la media de los datos, y H_1 sería que la media va aumentando o disminuyendo con el tiempo.

La prueba estadística, Es una forma de comparar H_0 y H_1 , que implica un valor numérico a partir de la serie de datos que se está probando.

Un punto de partida de una prueba estadística es definir una hipótesis nula (H_0) y una hipótesis alternativa (H_1). Por ejemplo para comprobar la evolución de la media de una serie de tiempo, H_0 sería que no hay ningún cambio en la media de los datos, y H_1 sería que la media va aumentando o disminuyendo con el tiempo.

El nivel de significancia, es una manera de medir si la prueba estadística es muy diferente de los valores que normalmente se producen bajo H_0 . Es la probabilidad de que un valor de la prueba estadística sea extremo a más extremo que el valor observado suponiendo que no hay tendencia o cambio (H_0). Por ejemplo, para $\alpha=0.05$, el valor crítico de la prueba estadística es el que superara el 5% de valor de la prueba estadística obtenida a partir de los datos generados aleatoriamente. Si el valor de la prueba estadístico es mayor que el valor crítico de la prueba estadística, se rechaza H_0 . El nivel de significancia es por tanto la probabilidad de que una prueba detecta una tendencia o cambio (rechazar H_0), y cuando no está presente (error tipo I) una posible interpretación del nivel de significancia podría ser:

$\alpha > 0.10$ poca evidencia en contra de H_0

$0.05 < \alpha < 0.10$ posible evidencia en contra de H_0

$0.01 < \alpha < 0.05$ fuerte evidencia en contra de H_0

$\alpha < 0.01$ evidencia muy fuerte en contra de H_0

Para detectar tendencias o cambios, se utiliza el valor crítico de la prueba estadística $\alpha/2$ se utiliza (dos periodos). Para detectar un aumento (o disminución), se utiliza el valor crítico de la prueba estadística “ α ” (un periodo).

Hay dos tipos posibles de errores. Error tipo I cuando H_0 se rechaza incorrectamente. Error de tipo II cuando H_0 se acepta cuando H_1 es verdadero.

Una prueba con escaso margen de error de tipo II se dice que es de gran alcance.

2.1.7. Calentamiento global.

El calentamiento global es uno de los más grandes problemas del siglo XXI, con consecuencias económicas, sociales y ambientales de gran magnitud. El Calentamiento Global no es más que el incremento de la temperatura promedio de la tierra debido principalmente a la sobre acumulación de gases de efecto invernadero - GEI en la atmósfera producidos principalmente por la actividad humana, provocando que gran cantidad (por encima de lo normal) de la energía solar emitida por la tierra se vea atrapada dentro de esta capa de gases.

A partir de 1979 diversos científicos comenzaron a afirmar que el aumento de la concentración de CO_2 en la atmósfera supondría un calentamiento medio de la superficie de la tierra de entre 1.5 y 4.5° C. debido principalmente a los altos niveles de emisión de gases de efecto invernadero - GEI producidos por los

países desarrollados; niveles que se relacionan principalmente al uso ineficiente de la energía y los recursos naturales, otro factor que debe considerarse es que la intensidad de este problema se irá incrementando rápidamente ya que el mundo pierde aproximadamente 13 millones de hectáreas de bosque anuales generando 20% más de emisiones de CO₂ a la atmósfera.

Según los estudios realizados a la fecha, los efectos del Calentamiento Global como su nombre lo dice- tendrán consecuencias a nivel mundial, debido a un incremento de la temperatura media global de entre 1° C y 5° C durante el presente siglo. Algunos de estos efectos como la deglaciación de los nevados de la cordillera de los andes y el blanqueamiento de los arrecifes coralinos en Australia, ya se pueden apreciar (Labor, 2007).

Calentamiento global, aumento de la temperatura de la Tierra debido al uso de combustibles fósiles y a otros procesos industriales que llevan a una acumulación de gases invernadero (dióxido de carbono, metano, óxido nitroso y clorofluorocarbonos) en la atmósfera. Desde 1893 se sabe que el dióxido de carbono ayuda a impedir que los rayos infrarrojos escapen al espacio, lo que hace que se mantenga una temperatura relativamente cálida en nuestro planeta (efecto invernadero). Sin embargo, el incremento de los niveles de dióxido de carbono puede provocar un aumento de la temperatura global, lo que podría originar importantes cambios climáticos con graves implicaciones para la productividad agrícola.

2.1.8. Cambio climático.

El cambio climático es una modificación identificable y persistente del estado del clima por variabilidad natural o por efecto de la actividad humana, en la

actualidad se viene produciendo en la superficie terrestre como resultado de una mayor acumulación de gases de efecto invernadero (Vargas, 2009).

El cambio climático es una creciente amenaza para la seguridad humana, ya que perjudica el acceso a los alimentos, al agua y al refugio, destruye pertenencias, pone en peligro la cultura y la identidad, aumenta la migración forzada y la rivalidad y desafía a la capacidad de los estados para proporcionar las condiciones necesarias en seguridad humana. Indirectamente, todo esto puede derivar en riesgos de conflictos violentos. (www.greenpeace.es).

En las últimas décadas, el tema del cambio climático ha adquirido gran relevancia a nivel mundial llegando a posicionarse como una de las prioridades de la agenda internacional, nacional, regional y local (Crane, Roncoli, & Hoogenboom, 2011), debido a las predicciones catastróficas para el planeta previsto por la comunidad de científicos (Vargas, 2009). Los cambios en los patrones actuales de la temperatura podrían ocasionar grandes efectos en el incremento de la temperatura ambiental, efecto del cambio climático, además en latitudes subtropicales se prevé una disminución de las precipitaciones pluviales (IPCC, 2001, 2007; Thomson *et al.*, 2006; Wei *et al.*, 2009).

Se llama cambio climático a la variación global del clima de la Tierra. Tales cambios se producen a muy diversas escalas de tiempo y sobre todos los parámetros climáticos: temperatura, precipitaciones, nubosidad, etc.

2.1.9. Clima.

El Clima por ser un conjunto de elementos y factores atmosféricos, es de suma importancia en la vida cotidiana y en las actividades industriales, agrícolas, ganaderas etc. Por tal razón su estudio es muy interesante para tener

conocimiento del mismo para facilitar en si una infinidad de actividades de la vida cotidiana. El clima sus elementos y factores atmosféricos se relacionan entre ellos para mantener un equilibrio en la actividad climática como: temperatura, precipitaciones, estaciones del año entre otras más. El incremento demográfico del hombre ha alterado ciertos factores, perjudicando en si el equilibrio climático. Por tal razón entender y comprender el clima es necesario y de necesidad de toda la población.

El clima es un sistema complejo por lo que su comportamiento es muy difícil de predecir, por una parte hay tendencias a largo plazo debidas, normalmente, a variaciones sistemáticas, como el aumento de la radiación solar o las variaciones orbitales pero, por otras existen fluctuaciones caóticas debidas a la interacción entre fortalecimientos, retroalimentaciones y moderadores. Ni siquiera los mejores modelos climáticos tienen en cuenta todas las variables existentes por lo que, hoy en día solamente se puede aventuar una previsión de lo que será el tiempo atmosférico del futuro más próximo asimismo el conocimiento del clima del pasado es también más incierto a medida que se retrocede el tiempo (Trewartha, 1995).

2.1.9.1. Elementos del clima.

Los elementos constituyentes del clima son temperatura, presión, vientos, humedad y precipitaciones. Tener un registro durante muchos años de los valores correspondientes a dichos elementos con respecto a un lugar determinado, nos sirve para poder definir como es el clima en ese lugar, de estos cinco elementos, los más importantes son la temperatura y las precipitaciones porque en gran parte los otros tres elementos o rasgos del clima están

estrechamente relacionados con los dos que se han citado. Ello significa que la mayor o menor temperatura de origen a una menor o mayor presión atmosférica respectivamente, ya que el aire caliente tiene menor densidad y por ello se eleva (ciclón o zona de baja presión), mientras que el aire frío tiene mayor densidad y tiene tendencia a descender (zona de alta presión o anticiclón) a su vez estas diferencias de presión dan origen a los vientos (de los anticiclones a los ciclones), los cuales transportan la humedad y las nubes y por lo tanto dan origen a la desigual repartición de las lluvias sobre la superficie terrestre.

2.1.9.2. Factores del clima.

La distribución de los medios geográficos y de los climas de la tierra viene condicionada por los factores del clima, ya que un medio geográfico no tiene que ver solamente con la temperatura y las precipitación, si no que se produce por la interrelación de los factores geográficos como altitud, latitud, la influencia de las corrientes marinas, la continentalidad, etc. y los astronómicos o termodinámicos caso de los centros de acción, las masas de aire y los frentes.

2.1.9.3. Factores geográficos.

Los definimos como aquellos factores que pueden modificar las características del clima de un lugar. Los más importantes son la latitud, la altitud, la orografía o relieve, la continentalidad o distribución de tierras y mares, las corrientes marinas y la presión atmosférica.

a) Latitud.- Es un factor básico porque nos indica la cantidad de calor que recibe un punto o un área en un momento determinado o a lo largo de un periodo de tiempo. Europa situada entre los 36° y 75° latitud Norte y forma parte de la

zona templada-fría del hemisferio Norte, también se localiza en la zona de intercambio de masas de aire polar y tropical, en el sector meridional de la banda de actuación del Frente Polar y en la zona de influencia de los vientos del oeste. Cuanto más cerca se esté del Ecuador mayor será la cantidad de calor recibida, por ello Europa presentará una gama térmica muy contrastada, ya que el Sur al recibe más perpendicularmente los rayos solares presentará temperaturas más elevadas que el Norte, donde la pérdida de calor es tanto más considerable cuanto más oblicuamente inciden los rayos solares en el suelo. La duración de la insolación en Europa es mayor en verano debido a que los rayos solares caen perpendicularmente sobre el trópico de Cáncer situado a 23° latitud Norte.

b) Altitud.- la altura del relieve modifica sustancialmente el clima, en especial en la zona intertropical, donde se convierte en el factor modificador del clima de mayor importancia. Este hecho ha determinado un criterio para la conceptualización de los pisos térmicos que son fajas climáticas delimitadas por curvas a nivel que generan también curvas de temperatura (isotermas), que se han establecido tomando en cuenta tipos de vegetación, temperatura y orientación del relieve.

La temperatura desciende unos 0,6° por cada 100 m. que ascendemos debido a la menor densidad del aire y a que éste contiene menor cantidad de agua y de anhídrido carbónico, lo que dificulta poder retener el calor. Esta menor densidad permite que los rayos solares atraviesen las masas de aire sin apenas calentarlas, pero al atravesarlas sin obstáculos los rayos solares caen con fuerza en las rocas calentándolas intensamente, sin embargo por la noche pierden rápidamente el calor por radiación, con lo que baja en muy poco tiempo la

temperatura. La altitud con su correspondiente descenso de temperatura, influye en la existencia de nieves.

c) Orografía.- Es otro factor geográfico importante, Europa tiene una altitud media de 340 metros sobre el nivel del mar, si a esto le sumamos que la costa occidental es llana y continua a través de la gran llanura atlántica y centroeuropea, constatamos que las influencias oceánicas se dejan notar a distancias superiores a los 1000 Km. En el sur de Europa, al igual que en España, la orografía está dispuesta a modo de muralla defensiva que impide el acceso al interior de los influjos que vienen del mar, por ello son pocas las zonas que disfrutan de estas condiciones, que se limitan a estrechas orlas costeras es lo que llamamos efecto Fohen.

d) Corrientes marinas.- Europa se ve afectada fundamentalmente por la corriente del Golfo o Gulf Stream, que nace en el Golfo de México y se desplaza en dirección Noreste bañando las costas occidentales de Europa hasta Noruega. Es una corriente cálida y por ello cuando las masas de aire de componente Oeste la atraviesan se calientan y absorben humedad, en contacto con el continente y los relieves costeros provocan abundantes precipitaciones y favorecen la existencia de temperaturas más suaves, como puede constatarse en la costa atlántica noruega.

e) La presión atmosférica.- Al nivel del mar, la atmósfera ejerce una presión aproximadamente de 1 kg/cm^2 sobre cualquier superficie sólida o líquida. Este sería el peso de una columna de aire que se extendiese verticalmente hasta el límite exterior de la atmósfera.

La presión atmosférica se mide en milímetros con el barómetro. La presión normal que el barómetro marca al nivel del mar es de 760 mm. No obstante, la medida que se utiliza científicamente es el milibar (mb). Un mm de mercurio equivale a 1,33 mb. Así, en mb. La presión a nivel del mar es de 1013,2 mb

2.1.10. Variables climáticas.

2.1.10.1. Temperatura.

Manifiesta que, la temperatura es el elemento más importante del clima. En la naturaleza todo aparece gobernado por lo térmico. Consecuentemente la temperatura es la causa de la circulación atmosférica y por tanto el verdadero motor del sistema climático. Al mismo tiempo que fuerza motriz, la temperatura es el elemento más sensible del clima. Fundamento básico del mundo vegetal a través de la energía fotosintética, puede afirmarse que constituye la fuente de toda la vida sobre la superficie del globo. Por ello la distribución de las formaciones vegetales del globo coincide con la de las temperaturas, (Quereda, 2008).

2.1.10.2. Escalas de temperatura.

Las escalas de temperatura más comúnmente usadas son dos: Celsius y Fahrenheit, con fines de aplicaciones físicas o en la experimentación, es posible hacer uso de una tercera escala llamada Kelvin o absoluta.

La escala Celsius es la más difundida en el mundo y se la emplea para mediciones de rutina, en superficie y en altura.

La escala Fahrenheit se usa en algunos países con el mismo fin, pero para temperaturas relativamente bajas continúa siendo de valores positivos (Fices, 2010).

2.1.10.3. La precipitación.

Es una parte importante del ciclo hidrológico, llevando agua dulce a la parte emergida de la corteza terrestre y, por ende, favoreciendo la vida en nuestro planeta, tanto de animales como de vegetales, que requieren agua para vivir. La precipitación se genera en las nubes, cuando alcanzan un punto de saturación; en este punto las gotas de agua aumentan de tamaño hasta alcanzar una masa en que se precipitan por la fuerza de gravedad. Es posible insembrar nubes para inducir la precipitación rociando un polvo fino o un químico apropiado (como el nitrato de plata) dentro de la nube, acelerando la formación de gotas de agua e incrementando la probabilidad de precipitación, aunque estas pruebas no han sido satisfactorias.

CAPITULO III

MATERIALES Y METODOS

3.1 Ubicación del ámbito de estudio.

La cuenca hidrográfica del río llave tiene un área de 7'794 Km², constituye otra de las cuencas geográficas más importantes del sistema fluvial del lago Titicaca, instituida políticamente por las provincias El Collao, Puno y Chucuito, el cual limita:

- Norte : Cuenca hidrográfica del río Illpa
- Sur : Cuenca hidrográfica del río Maure
- Este : Lago Titicaca y Zapatilla
- Oeste : Cuenca hidrográfica del Tambo y Locuma.

Geográficamente está ubicado:

- Meridianos : 69° 27' - 69° 70' de longitud Oeste
- Paralelos : 15° 47' – 17° 08' de latitud Sur

Coordenadas UTM (WGS84)

- Norte : 8'221,195.27
- Este : 431,019.57
- Altitud : 3810 hasta 5585 m.s.n.m.

3.1.1 Vías de acceso:

Tabla 01: Ubicación del ámbito de estudio.

Desde – Hasta	Distancia (Km)	Tiempo (Hra)	Tipo de Vía
Puno – llave	54	1 hora	Asfaltado

Fuente: elaboración propia

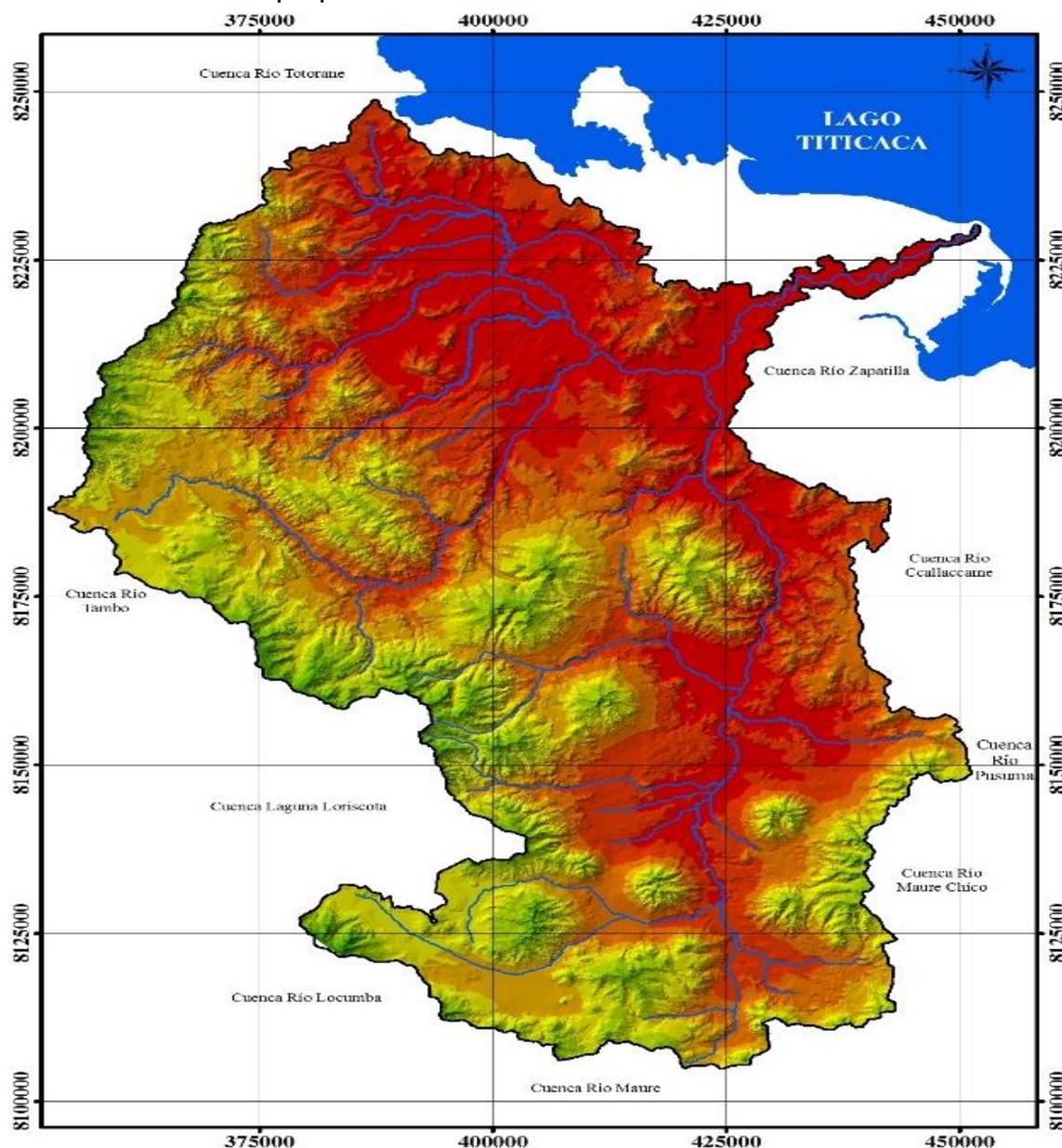


Figura 01: ubicación hidrográfica de la cuenca del río llave.

Fuente: elaboración propia.

3.1.2. Clima.

En la cuenca del río llave las características (termo-pluviales), juega un pliego significativo ya que son causa de la existencia de graves problemas, representados principalmente por las sequias y heladas, entonces el clima corresponde de dos tipos; templado en las zonas bajas circundantes al lago Titicaca y frío en las zonas altas del altiplano. La presencia del lago Titicaca genera un microclima, el cual constituye un elemento termorregulador que favorece el desarrollo de la agricultura y la ganadería. En tanto el clima semiseco, frío en invierno, frío lluvioso en verano, la temperatura promedio es de 9°.

El clima frío hasta los 4,000 msnm, con una temperatura promedio de 12°C y clima frígido en los distritos de Conduriri, Santa Rosa Mazocruz y Capaso ubicados sobre los 4,000 msnm, con una temperatura promedio de 6°C y una precipitación anual promedio de 700 mm.

3.2 Información meteorológica y equipos.

3.2.1. Información meteorológica.

3.2.1.1. Información de temperatura.

Se utilizó la información de temperatura, de la base de datos proporcionados por SENAMHI, con respecto a las variables de termométrica: como los registros de la temperatura máxima, media y mínima.

3.2.1.2. Información de precipitación.

Se utilizó la información de la precipitación pluvial existente en la base de datos de SENAMHI, como los registros de la precipitación total, días de precipitación y precipitación máxima de 24 horas.

3.2.2. Equipos (materiales de cómputo y otros).

Entre los materiales, instrumentos, equipos y servicios utilizados para la ejecución de la investigación se tienen los siguientes.

3.2.2.1. Materiales y equipos de gabinete.

- ✓ Papel bond 80g formato A-4
- ✓ Útiles de escritorio
- ✓ Tóner para impresora 85 – A
- ✓ Memoria USB
- ✓ Papel Bond A-3
- ✓ Computadora
- ✓ Una impresora Lasser Jet M1132
- ✓ Impresora a tinta Edson L355
- ✓ Software: SPSS, Hydraccess, Trend y otros.
- ✓ Software de ArGis
- ✓ Microsoft (Microsoft Word, Microsoft Excel, Microsoft Power Point Microsoft.
- ✓ Otros

3.2.2.2. Servicios.

- ✓ Impresión, fotocopias, anillados, escaneados y otros.

3.2.3 Materiales cartográficos, hidrológicos y bibliográficos.

Se usó el mapa físico político del departamento de Puno por el (IGM) a escala 1/750,000, así mismo la información meteorológica temperatura máxima, media y mínima) correspondiente al registro histórico de las tres estaciones, proporcionado por SENAMHI.

3.3 Metodología.

3.3.1. Enfoque de la investigación.

La investigación está dividida en las siguientes fases:

- Recopilación de información meteorológica de las estaciones administradas por SENAMHI correspondiente al área de estudio y las vecinas de los años 1964-2014 en formato digital; temperatura máxima, temperatura media, temperatura mínima y precipitaciones pluviales.
- Análisis de consistencia de homogeneidad y evaluación del comportamiento de series históricas de temperaturas y precipitaciones pluviales con el *software* HYDRACCESS y análisis de tendencias de la serie de datos en las estaciones meteorológicas de la cuenca y estaciones vecinas, se verifico estadísticamente dichas tendencias en el *software*, TREND y SPSS.

3.3.1.1. Análisis de consistencia.

Antes de proceder a efectuar cualquier modelamiento de las series históricas de variables, es necesario efectuar el análisis de consistencia respectivo a fin de obtener una serie consistente, homogénea y confiable; porque la inconsistencia puede generar errores significativos en todos los análisis futuros que se realicen. El análisis de consistencia es una técnica que permite detectar, identificar, cuantificar, corregir y eliminar los errores sistemáticos de la no homogeneidad e inconsistencia de una serie meteorológica. Para el relleno se ha empleado con el software *HYDRACCESS*.

3.3.1.2. Temperatura.

La calidad de la información está condicionada por varios factores sujetos en mayor o menor proporción a errores difíciles de detectar. En general, la calidad dependerá de las consideraciones asumidas para definir las estaciones meteorológicas en función a la consistencia de su localización, así como a longitud de los periodos de registros observados disponibles y las condiciones de datos faltantes menores o iguales al 15% en los registros de datos en las estaciones respecto al tratamiento de la información.

El análisis de consistencia de la información de temperatura se efectuó a través del análisis de correlación, basado en la suposición de que las temperaturas medidas en las estaciones regionales del ámbito de estudio, se relacionan entre sí de manera lineal.

3.3.1.3. Vector regional (VR).

El vector regional crea un vector de índices anuales o mensuales entre grupos de datos de precipitación pluvial y de temperaturas en base a una serie cronológica de datos temporales ficticios, correspondientes a una estación igualmente ficticia en base a series de datos históricos. El vector regional de índices toma en cuenta el comportamiento de las series históricas, y los pseudo-ciclos de la zona o región climática que afectan a cada una de las estaciones estudiadas, verificando de esta manera la homogeneidad temporal de las series. El vector regional de índices anuales y mensuales verifica la homogeneidad espacial de series observadas en las estaciones pertenecientes a la misma zona climática.

El cálculo de los índices del vector regional se basa en una matriz de observaciones compuesta de los registros anuales o mensuales de las variables meteorológicas de estaciones con “n” años de registros con observaciones faltantes a ciertas estaciones en ciertos años. Para cada estación se calculó una media que cubre el grupo de datos del periodo de estudio, y para todos los años, cuando el índice es superior a 1 indica año húmedo o con altas temperaturas, y cuando es inferior a 1 indica año con déficit de lluvias o con bajas temperaturas. El vector regional toma en cuenta la información de una región que supuestamente es homogénea climáticamente y/o comportamiento temporal similar entre las estaciones en estudio.

Con el cálculo del vector regional del grupo regional de estaciones de la cuenca llave, la crítica de los datos se facilita grandemente, porque se puede entonces:

- ✓ Evaluar la calidad de los datos de una estación y su pertenencia al grupo regional, mediante diversos parámetros estadísticos (p.e. coeficiente de correlación, error relativo, desviación standard) proporcionados por el software *HYDRACCESS*.
- ✓ Comparar y evaluar gráficamente el comportamiento de las estaciones dentro de un grupo y entre grupos de estaciones, se traza, entre otras cosas, el vector regional del grupo de las estaciones que conforman el ámbito de estudio, así como las curvas doble acumuladas mediante el software *Hydracces*, el cual permite identificar rápidamente quiebres y datos anómalos.

La calidad del vector regional depende de la calidad de los datos de la entrada, aunque los algoritmos usados intentan minimizar la influencia de los datos erróneos. El índice regional del vector se calcula a la salida “la inconsistencia” por los errores que existen en los datos de origen, si se eliminan o corrigen gradualmente los datos incoherentes más evidentes en los datos de entrada, hasta llegar a un vector regional de buena calidad, cuando el vector regional es de buena calidad, se puede usar para reconstruir datos faltantes, multiplicando el índice regional de un año por el valor medio de la precipitación en esa estación durante el periodo de estudio.

Antes de aplicar el software se requiere del análisis crítico inicial de la información existente y/o análisis de consistencia de datos, entendiéndose por esto a la detección y corrección de aquellos datos incoherentes o no consistentes, es decir que contengan errores groseros, posteriormente se forman “grupos regionales” de estaciones que abarcan el ámbito de estudio, tomando en cuenta su cercanía, características físicas y topográficas, etc.

La salida del software contiene varios parámetros que evalúan la calidad de los resultados. Se consideran principalmente los siguientes parámetros:

- ✓ El coeficiente de correlación “r” del índice de las estaciones (>0.70)
- ✓ El valor de las desviaciones (que se deben mantener dentro de un margen de tolerancia)
- ✓ Los límites de confianza (inferior y superior) dentro de los que se deben mantener las series interanuales del índice del vector, con un 95 % de probabilidad de ocurrencia del evento.

En nuestro caso estos parámetros se encuentran dentro de los límites de confianza y son admitidos, en cuanto a que el grupo regional está conformado por estaciones bastante lejanas, y con geografías y fisiografías diferentes (altiplano, aberturas ocupadas interandinas). En algún caso, el análisis de resultados lleva a disminuir el tamaño del grupo regional, a identificar estaciones cuyos datos son inconsistentes y en caso extremo, a eliminar aquellas estaciones con bajo coeficiente de correlación y alta desviación.

Los resultados del vector regional de índices anuales para la precipitación, se muestran en la figura 09, en forma de índices obtenidos sobre los valores anuales de periodos históricos comunes de al menos 3 estaciones y un máximo de 6 estaciones, calculados respecto al año hidrológico adoptado: setiembre-agosto. Se han filtrado las estaciones regionales más consistentes, en general, se observa que el comportamiento climático es relativamente homogéneo, salvo en algunos años (estación de Capazo). Esto implica que los valores de los índices de las estaciones están dentro del intervalo de confianza, por lo que da una idea

de calidad e homogeneidad para trabajar con los datos de lluvia de las estaciones.

3.3.1.4. Análisis de tendencias.

Para la evaluación de tendencia se utiliza las técnicas estadísticas denominadas test paramétricos y no paramétricos, utilizando el software Trend.

El análisis de tendencias nos sirve para evaluar el cambio en el comportamiento de la precipitación y temperatura sobre periodos largos, en el presente trabajo se aplica el test no paramétrico de Mann Kendall, Spearman's Rho y los test paramétricos como regresión lineal y T-Student's, mediante el software de TREND.

Para realizar los test estadísticos sobre las series temporales de datos meteorológicos, estas deben ser continuas, que no deben existir vacíos de datos en la series, ya que deben ser completados para su análisis, por lo que se hizo el análisis de consistencia y se completó los datos faltantes.

3.3.1.4.1 Análisis de tendencias de temperaturas y las precipitaciones pluviales.

- ✓ Se efectuó la evaluación inicial de la calidad de los datos originales, mediante el análisis grafico de datos de hidrógramas anuales y mensuales.
- ✓ Preparación y armado de series continuas mensuales y anuales de dato de las temperaturas para el análisis de tendencias. Los datos originales que presentan vacíos en algunos meses o periodos que fueron reconstituidos y/o

completados para poder aplicar test estadísticos usados para el análisis de tendencias.

✓ Análisis de tendencias de temperaturas mensuales y anuales, se aplicó el test estadísticos paramétricos y no paramétricos, incluidos en el software TREND que son, Test Mann-Kendall, Sperman's Rho, Regression Lineal y t Student's.

Las variables en estudio se evaluó su tendencia para ver el comportamiento de dichos valores registrados desde el año 1964 hasta 2014, a fin de poder observar si muestran variaciones respecto al transcurso del tiempo como del espacio (oscilaciones de la temperaturas medias, así como de la precipitación pluvial), mediante test paramétricos y no paramétricos, los resultados se interpretaron considerando las variaciones de eventos extremos de los elementos frente escenarios de las variaciones climáticas.

Seguidamente, esta secuencia de estimaciones permitió ver el comportamiento de cada variable en el modelo como al final se comparó cada uno, eligiendo el mejor modelo según los criterios estadísticos en base al índice de relación R^2 .

Posteriormente, se realizó las interpretaciones de los valores obtenidos de la interrelación de las variables climáticas como el rendimiento hídrico (Lavado W., 2011).

La técnica estadística utilizada para validación de resultados, fue el coeficiente de correlación de Pearson, cuyo estadígrafo es:

$$r \approx \frac{n(\sum fxydx dy) - (\sum fxdx)(\sum fyd y)}{\sqrt{[n(\sum fxd_x^2) - (\sum fxdx)^2][n(\sum fyd_y^2) - (\sum fyd y)^2]}}$$

Dónde: n = Población o número de observaciones bivariantes, f_x = Frecuencias marginales de la variable X, f_y = Frecuencias marginales de la variable Y, dx = Desviación y/o variación respecto a un valor de X, dy = Desviación respecto a un valor de Y.

Para interpretar el coeficiente de correlación R , se tiene como criterio la correlación según Belizario (2014):

- (+) (-) Correlación inexistente $0.00 \leq r < 0.00$
- (+) (-) Correlación muy baja $0.01 \leq r < 0.20$
- (+) (-) Correlación baja $0.21 < r > 0.40$
- (+) (-) Correlación moderada $0.41 < r > 0.60$
- (+) (-) Correlación alta $0.61 < r > 0.80$
- (+) (-) Correlación muy alta $0.81 \leq r \geq 0.99$

(+) (-) Correlación perfecta $1.00 \leq r \geq 1.00$ Para la prueba de hipótesis estadística se toma en cuenta lo siguiente:

No existe correlación : $H_0: R_{xy} = 0$

Existe correlación : $H_1: R_{xy} \neq 0$

Se considera un nivel de significancia de $p < 5\%$.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Comportamiento temporal y espacial de la temperatura en la cuenca del río llave.

Consideramos que, las variaciones de los elementos climáticos afectarán de modo significativo a los seres vivos y a los ecosistemas, así como en particular a los sistemas semiáridos mediterráneos, por una acentuación del estrés hídrico por un incremento de la aridez. Por esta como otras razones, la necesidad de conocer así profundizar en la variabilidad climática en unos escenarios vulnerables y de incertidumbre como son las cuencas fluviales mediterráneas, en concreto del Sureste peninsular (IPCC, 2007).

4.1.1. Comportamiento temporal y espacial de las temperaturas.

La estacionalidad térmica es moderada en la cuenca del río llave, con las temperaturas más elevadas en diciembre a marzo, las más bajas de junio a agosto. La amplitud térmica de las temperaturas medias mensuales varía entre 5,8 - 6,5 °C en el norte, y 7,8 - 10,6 °C en el sur. Por lo general julio, es el mes más frío y el más cálido es el mes de diciembre en estos últimos años. En las cercanías del lago Titicaca esta amplitud disminuye a cerca de 3 a 4°C, dentro del propio lago a 1,9°C (Isla del Sol). Las temperaturas máximas como mínimas medias anuales, la oscilación térmica varía entre 17 y 19°C, en el norte entre 19

y 21 °C; en el sur, si bien en las cercanías del lago Titicaca se decrece de 9.9 a 11 °C hasta el centro del lago. A nivel de las temperaturas máximas a su vez mínimas medias mensuales, la oscilación térmica varía notoriamente en el año; en invierno va desde 23 a 25,5 °C en el norte y desde 23 a 26 °C en el sur, si bien en las cercanías del lago el mismo desciende a 14 °C, dentro del lago a 10,9 °C; en verano la oscilación térmica media mensual varía entre 13 y 14 °C en el norte, en el sur entre 13,9 y 17,4 °C, aunque en las cercanías como dentro del lago baja cerca de 9 °C (Ministerio del Medio Ambiente,, 2013).

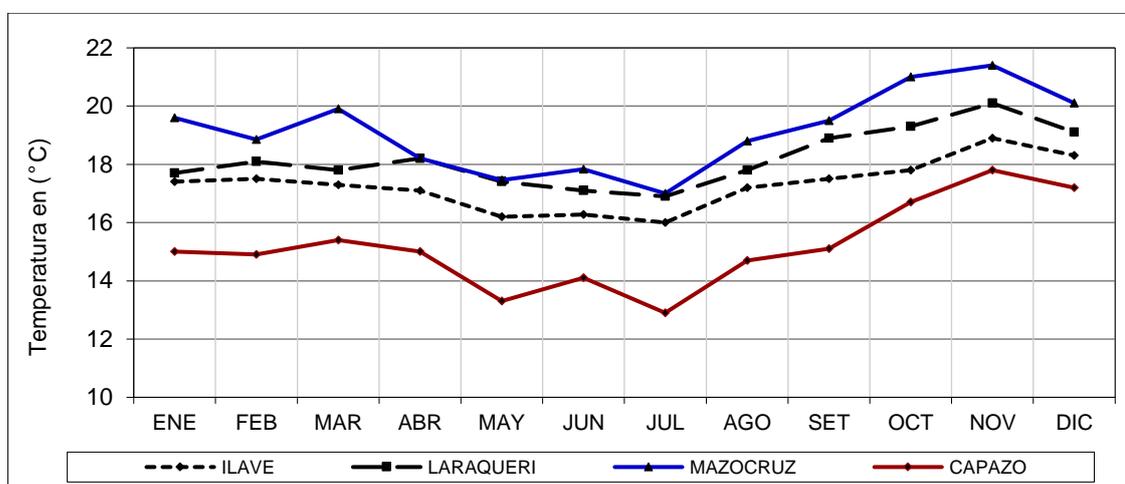


Figura 02: serie histórico de temperaturas máximas mensuales.

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo a la figura 02, se describe que las temperaturas más altas que se registraron en las estaciones de: Mazocruz oscilan entre 19.90, 20.10 y 21.40 °C en los periodos de 1988, 1999 y 2008; seguidamente Laraqueri con 19.10, 19.30 y 20.10 °C en los años 2004, 2009 y 2010; Capazo en los años 2004, 2008 y 2009 que oscilan 17.20, 17.80 y 16.70 °C respectivamente.

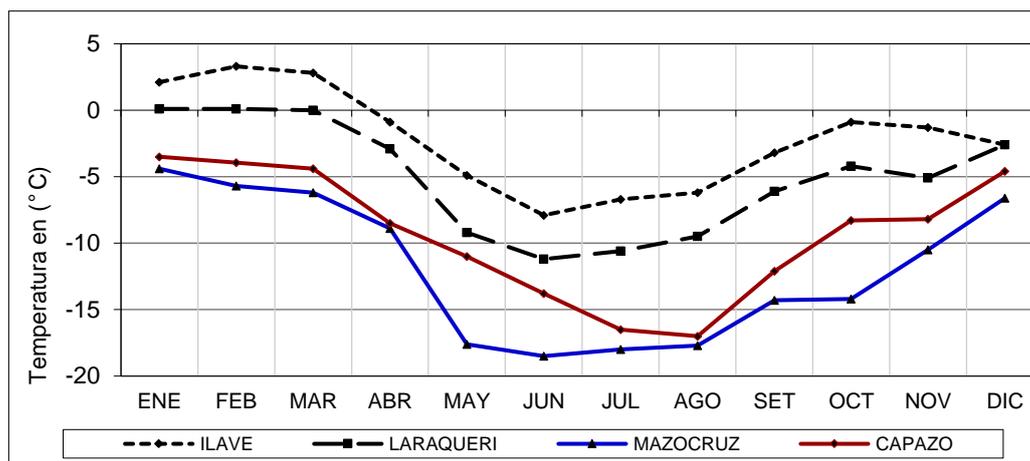


Figura 03: serie histórico de temperaturas mínimas mensuales.
Fuente: elaboración propia.

De la figura 03, durante los 50 años la temperatura mínima se registró en la estación meteorológica de Mazocruz que oscilan de -18.00, -18.50, -17.60 °C entre los periodos 1966, 1980, y 2005; de igual manera en la estación de Capazo con -17.00, -16.50 y -13.80 °C en los años 2008 y 2009; así mismo en la estación de Laraqueri cuyos registros oscilan de -11.20, -9.50, -10.60 en los periodos 2005 y 2010.

Para el análisis de consistencia de la información de temperatura, se realizó con registro climatológico de 50 años (1964 – 2014) con siete estaciones, dicho trabajo se desarrolló a través del análisis de correlación entre sí, mediante los índices anuales de vector regional utilizado el software Hydracces, la información de las estaciones seleccionadas consistentes con una buena correlación entre ésta y las estaciones de apoyo o vecinas.

En la figura 04 del índice anual acumulado para la temperatura media, muestra un comportamiento regional homogéneo con mínimos quiebres que implica que los índices de vector regional de las estaciones están dentro del límite de

confianza, describiendo una buena calidad de datos con comportamiento homogéneo entre sí.

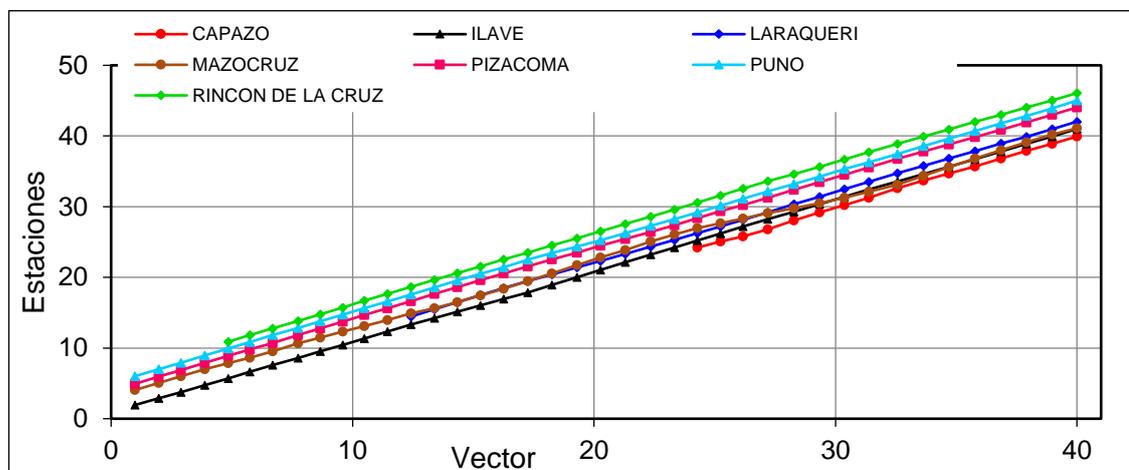


Figura 04: suma de los índices anuales del vector y las estaciones.
Fuente: ayuda del Software Hydracces.

En la figura 05 muestra que las temperaturas medias del conjunto o grupo de estaciones tienen un comportamiento regional homogéneo, donde los índices de vector regional de las estaciones están dentro del límite de confianza, lo que no indica que tienen una buena calidad de datos y consistentes porque muestran un comportamiento homogéneo, a excepción de los datos de temperatura media de la estación Mazocruz, cuyos valores están fuera de los límites de confianza entre los años 1991 al 1996; pero se tomó en cuenta por tener una serie continua para ser comparada con las otras estaciones regionales adoptadas para el análisis.

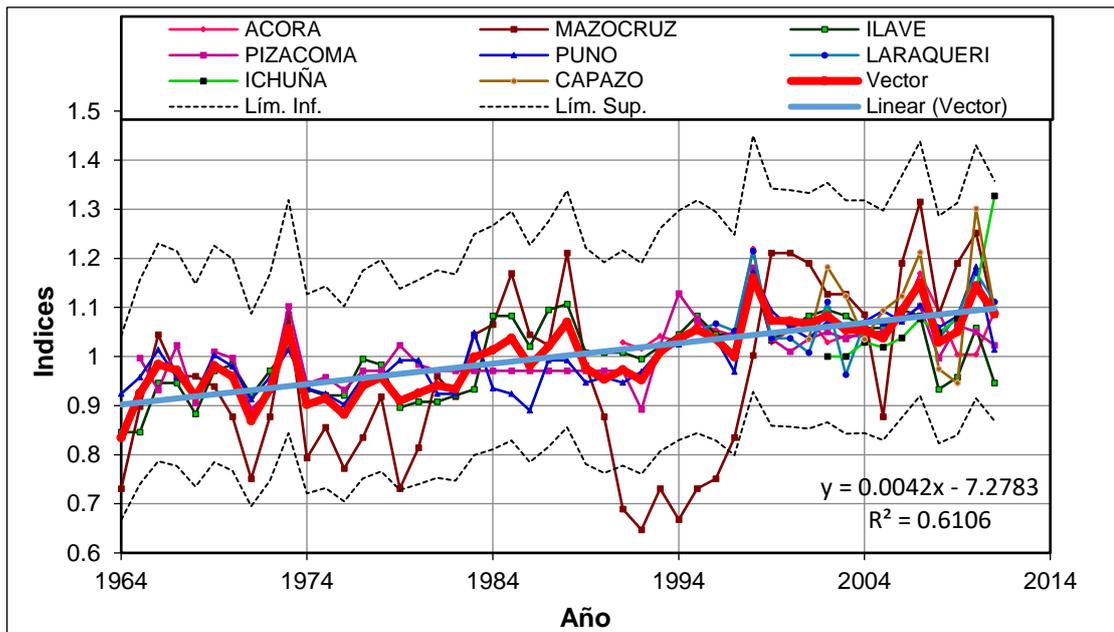


Figura 05: índices anuales del vector regional de temperaturas medias y estaciones.
Fuente: ayuda del Software Hydracces.

La temperatura media tiene comportamientos ascendentes en la cuenca del río llave, estos aumentos ha provocado un cambio temporal en los patrones de crecimientos de las plantas y la evaporación del agua de riego tan como corroboran otros investigadores (X. Li, Takahashi, Suzuki, y Kaiser, 2011 y Belizario, 2014).

4.1.2. Proyección de comportamientos de temperatura media anual.

La proyección del comportamiento de las temperaturas medias anuales en la cuenca del río llave, se determinó en base a series de tiempo con la función pronóstico de tendencia lineal, cuyos resultados se adjuntan en la siguiente tabla 02;

Tabla 02: temperaturas media observada y proyectada al año 2050 en la cuenca llave.

Ubicación	Estación Meteorológica	Temperatura promedio anual	Temperatura media en (°C)	
			Año - 2025	Año – 2050
Zona baja	Ilave	8.0	9.6	10.3
	Acora	8.1	9.1	9.6
Zona media	Laraqueri	7.0	8.3	9.0
Zona alta	Mazocruz	4.6	6.2	6.9
	Capazo	3.7	4.4	4.9

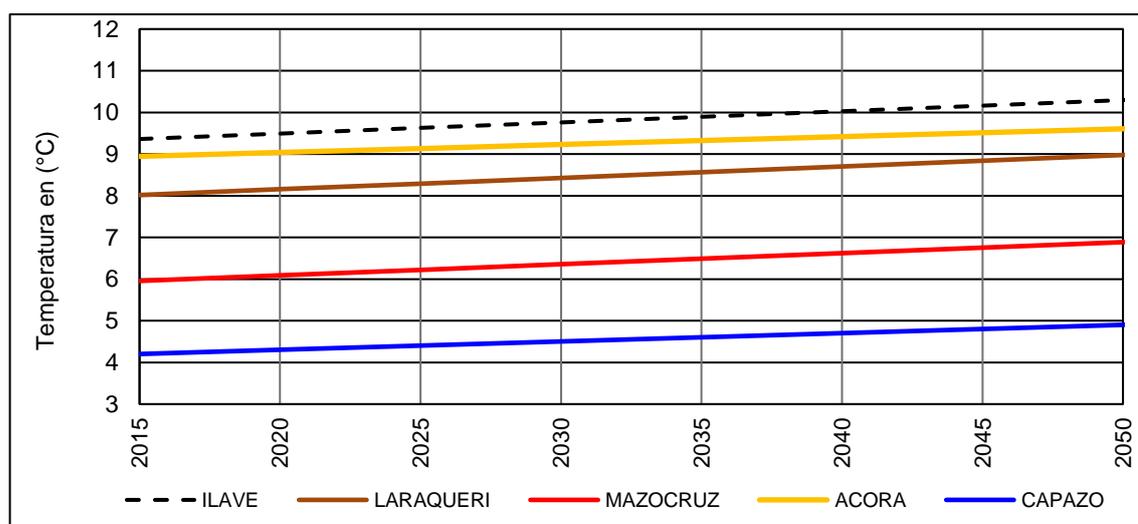
Fuente: elaboración propia.

Los resultados de las proyecciones, se realizó en base a la información de temperaturas promedio anuales de las estaciones meteorológicas: las zonas bajas la estación Acora e Ilave, las cuales tienen tendencia al incremento de 1.6 a 2.3 °C al año 2050, así mismo en la zona media, la estación Laraqueri presenta ascenso en 2.00 °C al año 2050 con significancia moderada, en las zonas altas las estaciones de Mazocruz y Capazo con aumento significativo de 2.3 a 1.2 °C al año 2050, y estos resultados son corroborados por Sanabria *et al.* (2010), donde concluye la proyección de incremento de temperatura media entre 2 a 4 °C en la zona sur del lago, además este incremento relaciona con el aumento del CO₂ a lo largo del siglo 21 y es ratificado por Belizario (2012) cuyos resultados tienen una buena correlación positiva en su estudio, y en consecuencia evolución anual de la evapotranspiración real sea descendiente, especialmente en el último periodo del siglo (IPCC, 2007), así mismo en las estaciones de primavera a verano se predice que se tendrá reducciones significativas en la evapotranspiración real; mientras en el invierno se llegará a incrementar la evapotranspiración de manera considerable, producto de la mayor

evapotranspiración potencial causados por la prolongada ausencia de lluvias, lo que acentuará conforme avanza el siglo.

Las mediciones de los satélites como los resultados del clima de la tierra en función a los resultados de la figura 06, en la cuenca llave no muestra incrementos considerables por el calentamiento global como el predicho por el IPCC; lo cual de acuerdo a los resultados esta diferencia es significativa, en el tiempo disminuirá la entrada de agua debido al proceso de evaporación y consecuentemente disminuiría el calentamiento por CO₂, puesto que el calentamiento global por CO₂ es intensificado por el vapor de agua, que también retiene calor (IPCC, 2007).

Figura 06: evolución de la tendencia en la temperatura media.



Fuente: apoyo del software Hydraccess.

La presencia de nubes influyen en el cambio de temperatura, ya que estos pueden interferir con la radiación producto del calentamiento global así como previene mayores incrementos de temperatura, el clima en la cuenca no ha llegado a alterar significativamente en los últimos años.

4.1.3. Tendencias del comportamiento de las temperaturas.

En la vertiente del Titicaca, la estacionalidad térmica es moderada en el ámbito de estudio, con las temperaturas más altas de diciembre a marzo, las más bajas de junio a agosto. La amplitud térmica de las temperaturas medias mensuales varía entre 5,8 °C - 6,5 °C en el norte, en el sur 7,8 °C - 10,6 °C. El mes más frío es por lo general julio, el mes más cálido diciembre. En las cercanías del lago Titicaca esta amplitud disminuye cerca de 3 °C a 4 °C, dentro del propio lago a 1,9 °C isla del Sol (Ministerio del Medio Ambiente, 2013). Las tendencias en el tiempo de la temperatura media muestran comportamientos mediante el uso de software Trend; aplicando el test no paramétrico de Man Kendall y Spearman's Rho, de forma simultánea para el test paramétrico de regresión lineal y auto correlación.

En las evaluaciones realizadas en la zona baja que conforman la estación de llave - Acora, zona media la estación Laraqueri y zona alta las estaciones Mazocruz y Capazo con series de tiempo, tal como se muestra en la tabla N° 03, con niveles de significancia de $\alpha = 0.1$, $\alpha = 0.05$ y $\alpha = 0.01$, mostrando en la última columna los resultados de la prueba, el NS indica no significativo, en $\alpha = 0.1$; representa estadísticamente significativo al 1%.

Tabla 03: análisis de tendencia de temperatura media anual.

Estación meteorológica	Pruebas	Test statistic	Critical values			Resultado
			(Statistical table)			
			$\alpha = 0.1$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.01$	
Ilave	Mann-Kendall	4	1	1	2	S (0.01)
	Spearman's Rho	4	1	1	2	S (0.01)
	Linear regression	5	1	2	2	S (0.01)
	Auto Correlation	4	1	1	2	S (0.01)
Acora	Mann-Kendall	4	1	1	2	S (0.01)
	Spearman's Rho	4	1	1	2	S (0.01)
	Linear regression	4	1	2	2	S (0.01)
	Auto Correlation	2	1	1	2	S (0.05)
Laraqueri	Mann-Kendall	3	1	1	2	S (0.01)
	Spearman's Rho	3	1	1	2	S (0.01)
	Linear regression	4	1	2	2	S (0.01)
	Auto Correlation	2	1	1	2	S (0.01)
Mazocruz	Mann-Kendall	2	1	1	2	S (0.01)
	Spearman's Rho	3	1	1	2	S (0.01)
	Linear regression	3	1	2	2	S (0.01)
	Auto Correlation	5	1	1	2	S (0.01)
Capazo	Mann-Kendall	1	1	1	2	NS
	Spearman's Rho	1	1	1	2	NS
	Linear regression	1	1	2	2	NS
	Auto Correlation	1	1	1	2	NS

Fuente: resultados del software TREND, en base a los datos que administra el SENAMHI.

Comprobando estadísticamente la tendencia con los test paramétricos y no paramétricos de la temperatura media resultó (tabla 04), las estaciones de Ilave, Acora, Laraqueri y Mazocruz presenta variaciones positivos significativos en su comportamiento mientras que la estación de Capazo presenta comportamiento estable, es decir que no presenta fuertes variaciones estadísticamente, finalmente, en el periodo de 1964 al 2014 el comportamiento interanual de los datos de las estaciones meteorológicas en la cuenca del rio llave presenta

cambios significativos con el ascenso de la temperatura a nivel anual para el periodo analizado.

Tabla 04: modelo de variables predictorias de temperatura media anual en la cuenca llave, 1994 – 2014.

Modelo	R	R ²	R ² cuadrado corregida	Error tip. de la estimación
1	0.883	0.770	0.711	3.49

Fuente: elaboración propia.

El modelo de la regresión lineal es aceptable y/o significativo con $R^2 = 0.77$, lo cual el coeficiente de relación es próximo a la unidad (1) denotándose la existencia de una relación directa con el incremento de temperatura media, es decir en los últimos 20 años hidrológicos tiene relación significativa con el cambio climático, pues efectivamente la temperatura media presenta ascenso en su tendencia en casi todo el ámbito de estudio.

Tabla 05: modelo de variables predictorias de temperatura media anual en la cuenca llave, 1994 – 2014.

Modelo	Suma de cuadrados	GL	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	690.61	5	138.12	11.34	0.008
Residuos	194.89	16	12.18		
Total	885.50	21			

Fuente: elaboración propia.

La distribución F del análisis varianza es positivo ya que $F_c > F_t$, así como nivel de significancia de 0.008 es mucho menor a 0.05 según el tabla 05, por lo que la hipótesis de investigación es válida, por ende podemos concluir que existe una variación positiva significativa de las temperaturas medias durante los últimos 20 años dentro del ámbito de estudio; por lo que validamos las variables predictorias de la temperatura media anual realizados en el presente trabajo, mientras

discrepamos el elevado incremento en el calentamiento global con el predicho de la IPCC(2004).

Tabla 06: variables predictorias en las tendencias de temperatura media anual, 1994 – 2014.

Estación	Coeficiente de Regresión		Coeficiente correlación R	N° Datos	ESTADISTICO T		Comparación	Tendencia Significativa
	Am	Bm			T calculada Tc	T tabla (95%) Tt		
Ilave	7.4053	0.0022	0.1906	576	4.6517	1.9641	[Tc] > Tt	SI
Acora	7.726	0.0016	0.1611	504	3.6573	1.9647	[Tc] > Tt	SI
Laraqueri	-5.4036	0.0834	0.3763	507	9.1272	1.9647	[Tc] > Tt	SI
Mazocruz	4.0042	0.0021	0.1152	576	2.7785	1.9641	[Tc] > Tt	SI
Capazo	3.468	0.0016	0.0521	264	0.8445	1.969	[Tc] < Tt	NO

Fuente: elaboración propia.

Los resultados presentados en párrafos anteriores corroboraron con el tabla 06 de la prueba de T student's, donde las estaciones de Ilave, Acora, Laraqueri y Mazocruz presentan tendencias significativas por efectos del cambio climático con una relación directa durante los últimos años. La zona alta conforman las estaciones de Mazocruz y Capazo, dichos sectores son dependiente de dos factores: la longitud, es más frío al oeste que al este por las influencias de las masas de aire húmedo procedentes de la Amazonía, mientras a mayor altitud la temperatura descende, a su vez es más lejano al lago Titicaca, ver Anexo E: Mapa de análisis de temperatura al 2020 y Anexo F: Mapa de análisis de temperatura al 2050.

Finalmente, escenario climático en las zonas baja, media y alta de la cuenca se presentan heladas en épocas inusuales, a su vez lluvias excepcionales, alterando el año hidrológico en estos últimos años, estas variaciones causan mayores riesgos en la producción agropecuaria, generando grave impacto sobre las condiciones de vida del poblador de la cuenca ocasionado por el efecto del cambio climático.

4.2 Comportamiento temporal y espacial de la precipitación fluvial en la cuenca del río llave.

4.2.1. Comportamiento temporal y espacial de la precipitación pluvial

Para el presente estudio de elementos meteorológicos, se realizó en base a la información de los registros históricos de precipitación pluvial proporcionados por el Proyecto Especial Lago Titicaca (PELT) y Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), y ubicando las estaciones meteorológicas mediante sus coordenadas UTM con aplicación del software ArcGis para la determinación e identificación en la cuenca en estudio.

En el análisis de consistencia, se realizó la verificación visualmente mediante el método gráfico de hidrógramas de doble acumulación y pruebas estadística, así mismo los errores o periodos dudosos que se tuvieron con los datos del grupo de las estaciones se corrigieron, pues significa eventos extremos realmente ocurridos, esto se presentan generalmente en todas las variables meteorológicas.

Con el propósito de uniformizar la información meteorológica de las precipitaciones pluviales mensuales en el ámbito de la cuenca, se sistematizaron, analizaron y completaron los datos desde los años 1964 al 2014, aplicando el software Hydraccess, tomando en cuenta el periodo de registro de la estación base.

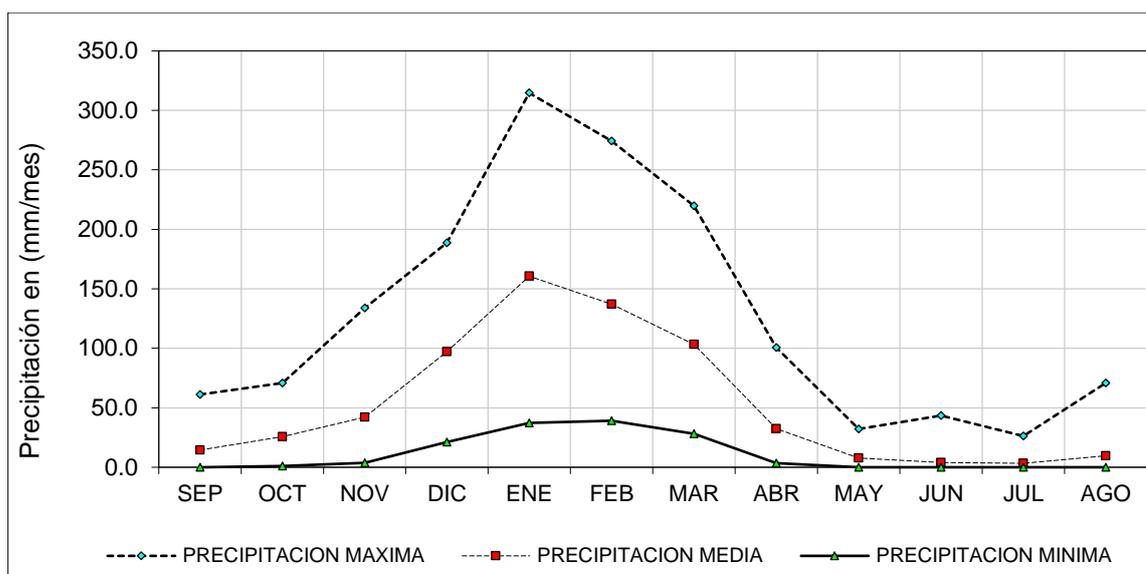


Figura 07: precipitaciones promedios mensuales de la serie (1964-2014)
Fuente: elaboración propia.

De la figura 07, la precipitación ponderada para la cuenca se describe que, la época de lluvia inicia desde el mes de setiembre con precipitación máxima hasta de 61.2 mm, y con precipitación media de 14.5 mm, a su vez precipitación mínima de 0.01 mm y los meses de enero, febrero y marzo de mayor persistencia pluvial con precipitación máximas de 314.70, 274.40 y 219.70 mm respectivamente ocurridos en el periodo 1964 - 2014; con precipitación media registradas de 160.60, 137.10 y 103.20 mm y una mínima de 37.34, 39.10 y 28.16 mm respectivamente; manifestar que los meses de mayo a agosto con precipitación pluvial más bajos, también conocida como época de estiaje.

Analizando visualmente la distribución temporal de toda la información disponible, donde se observa en los 50 años hidrológicos las estaciones meteorológica. El registro más intenso en precipitación pluvial fue en los años 1984 - 1985 con 1245.60 a 1440.70 mm en la estación de Acora; seguidamente por las estaciones de Laraqueri como Chilligua ocurrido en el año 1984 registraron 1224.90 y 1199.70 mm respectivamente; en la estación

meteorológica de llave se registró 991.50 y 1192.40 mm en el periodo 1984 y 1985 respectivamente.

Sin embargo, durante los 50 años hidrológicos las estaciones meteorológicas menos intensos en precipitaciones pluviales se registraron en las estaciones: Capazo, Mazocruz así como Chilligua con 160.10, 194.20 y 251.50 mm/año en el año 1983; seguidamente en 1992 las estaciones meteorológicas de Mazocruz registró 205.70 mm.

El diagrama de doble masa o acumulaciones en la figura 08, nos permite visualizar los comportamientos de las estaciones en estudio; en el que dicho grafico no muestra quiebres significativos considerables en la pendiente de la doble acumulación respecto al acumulado del promedio, por lo tanto, las condiciones de información son consistentes o son similares para todas la estaciones, puesto que los datos son homogéneos de las estaciones en estudios; la estación Acora presenta mayor regularidad ya que el coeficiente de correlación tiende a la unidad, el cotejo de la serie de precipitaciones anuales de las estaciones respecto a la estación base, muestra pequeños quiebres, dichos quiebres fueron evaluados con el análisis estadístico en concordancia a la figura.

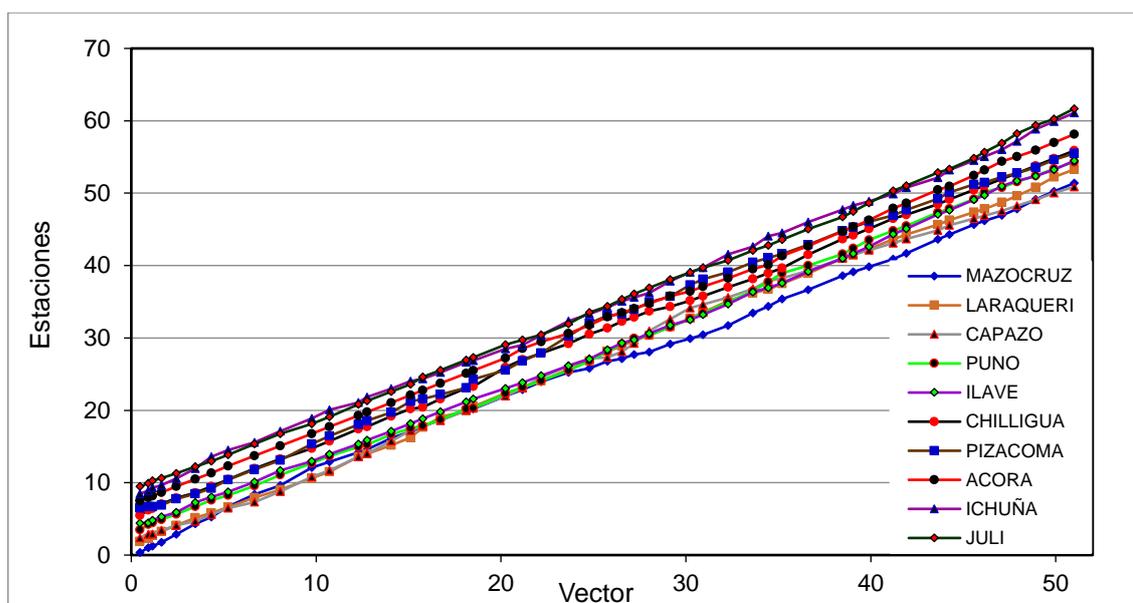


Figura 08: suma de los índices anuales del vector y de las estaciones.
Fuente: ayuda del software Hydracces.

El diagrama del vector regional con el software Hydracces de las estaciones seleccionados de la figura 09, se evalúa gráficamente el comportamiento de las estaciones dentro del grupo y entre grupos, así trazando el índice de vector regional donde se visualiza e identifica los quiebres así como los datos inconsistentes que se muestran fuera de los límites de confianza, pero la mayoría de la información tienen un comportamiento homogéneo, salvo en algunas estaciones en donde el índice de vector regional queda fuera del límite de confianza del grupo, caso de Capazo, Pizacoma, Chilligua como Mazocruz. Sin embargo, tiene una correlación muy baja entre los datos de las estaciones, así mismo se tomó en cuenta por tener una serie continua y extendida de datos la estación Acora para ser contrastada con las demás estaciones adoptadas para el análisis; lo cual implica que dichos valores de los índices de vector regional de las estaciones están dentro del intervalo de confianza para trabajar con dichos datos sin corrección alguna.

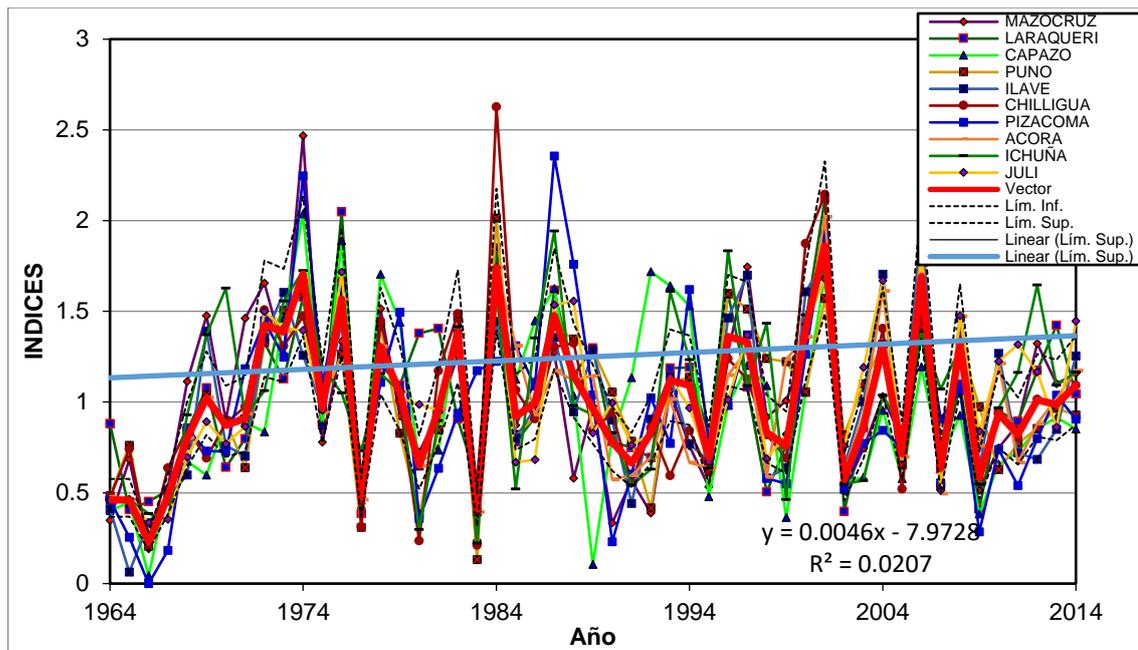


Figura 09: índices anuales del vector regional de precipitaciones medias y estaciones.

Fuente: ayuda del software Hydracces.

A nivel interanual, los años más lluviosos de los últimos 50 años fueron 1984, 1985 y 1986, la comparación de las lluvias de 1985 con la lluvia media anual muestra incrementos entre el 20% y 85% en el norte (la zona alta), entre el 20% y 50% en la zona media, en el sur (zona baja) entre el 0.0 y 50%. A su vez, el año 1983 fue el menos lluvioso generando una sequía considerable, con una precipitación inferior al 50% del promedio multianual en el conjunto del sistema generando pérdidas económicas cuantiosas en las actividades agropecuarias, estos resultados fueron corroborados y citados por otros investigadores (Hong, Nix, & Hutchinson, 2005).

Se muestra el resumen ponderado de las precipitaciones medias mensuales del grupo de estaciones pluviométricas (figura 10), se realizó con fines comparativos para el periodo estudiado, donde nos permite identificar mes a mes el periodo donde se ha obtenido medias de lluvias más altas así como más bajas, lo cual se tiene una idea inicial de las tendencias; registrándose la estación de,

Laraqueri y Acora, en las medias mayores de precipitación anual, es decir tiende a incrementarse en el último periodo.

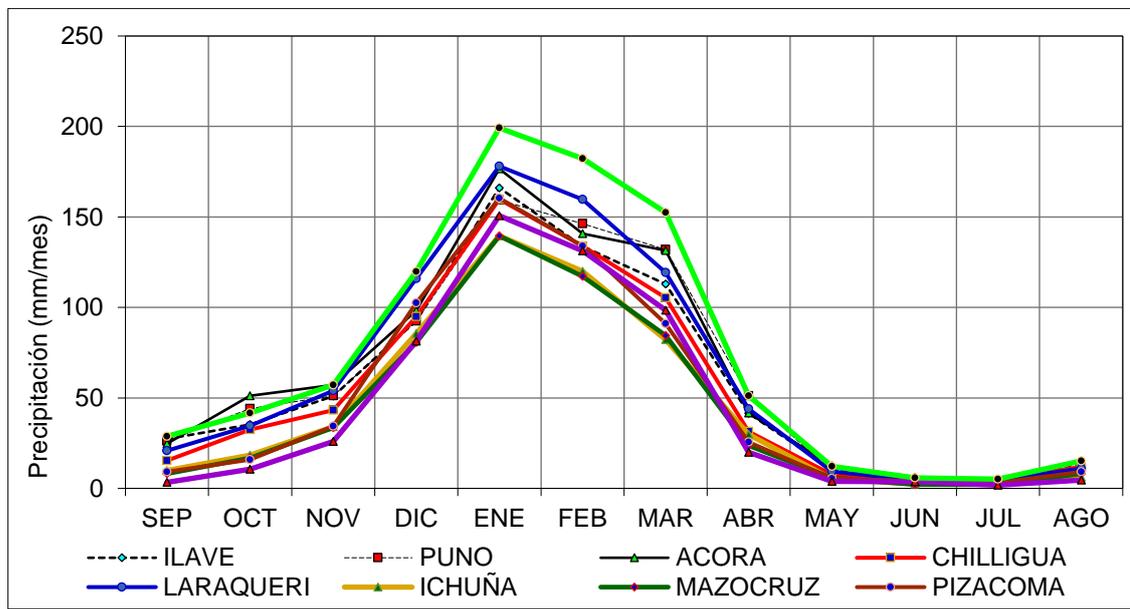


Figura 10: serie histórico de precipitación media mensual
Fuente: elaboración Propia.

4.2.2. Proyección del comportamiento de precipitación media anual.

Se proyecta las variaciones del comportamiento de precipitación media en la cuenca del río llave, en base a series de datos de precipitación pluvial con la función pronóstico de tendencia lineal.

El resultado de la proyección de precipitación pluvial al año 2050 en base a la información meteorológica se tiene que la zona baja, estaciones de llave y Acora presentan un incremento moderado de 201 a 216 mm; en la zona media las estaciones de Chilligua y Laraqueri presentan incremento moderado leve de 202 a 18 mm; en las zonas altas las estaciones de Mazocruz y Capazo obteniendo de 38 a -87 mm para el año 2050 con ausencia de las precipitaciones significativos en el tiempo. En consecuencia en la cuenca se habitúan los cambios de los patrones de precipitación por causas del calentamiento global.

Tabla 07: precipitación media observada y proyectada al año 2050.

Ubicación	Estación meteorológica	Precipitación promedio anual	Precipitación media en (mm)	
			Año – 2025	Año – 2050
Zona baja	llave	696	839	897
	Acora	756	910	972
Zona media	Chilligua	643	786	845
	Laraqueri	756	769	774
Zona alta	Mazocruz	522	549	560
	Capazo	536	474	449

Fuente: elaboración Propia.

4.2.3. Tendencias del comportamiento de la precipitación pluvial.

En las columnas de la tabla estadística se muestran los resultados de las pruebas para todas las estaciones climatológicas mencionadas, presentando los valores para niveles de significancia de $\alpha = 0.1$, $\alpha = 0.05$ y $\alpha = 0.01$, cuyo resultado de la prueba se muestra en la última columna, el NS tiene como resultado no significativo y S tiene como resultado significativo en (0.10) y (0.05).

Tabla 08: análisis de tendencia de precipitación media anual de la estación llave

Estación meteorológica	Pruebas	Test statistic	Critical values			Resultado
			(Statistical table)			
			$\alpha = 0.1$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.01$	
llave	Mann-Kendall	0.86	1.65	1.96	2.58	NS
	Spearman's Rho	0.86	1.65	1.96	2.58	NS
	Linear regression	1.38	1.68	2.01	2.68	NS
	Auto Correlation	2.42	1.65	1.96	2.58	S (0.05)
Acora	Mann-Kendall	1.24	1.65	1.96	2.58	NS
	Spearman's Rho	1.23	1.65	1.96	2.58	NS
	Linear regression	1.32	1.68	2.01	2.68	NS
	Auto Correlation	1.86	1.65	1.96	2.58	S (0.1)
Chilligua	Mann-Kendall	1.28	1.65	1.96	2.58	NS
	Spearman's Rho	1.58	1.65	1.96	2.58	NS
	Linear regression	1.43	1.68	2.01	2.68	NS
	Auto Correlation	0.86	1.65	1.96	2.58	NS
Laraqueri	Mann-Kendall	0.37	1.65	1.96	2.58	NS
	Spearman's Rho	0.41	1.65	1.96	2.58	NS
	Linear regression	0.12	1.68	2.01	2.68	NS
	Auto Correlation	1.12	1.65	1.96	2.58	NS
Mazocruz	Mann-Kendall	0.42	1.65	1.96	2.58	NS
	Spearman's Rho	0.51	1.65	1.96	2.58	NS
	Linear regression	0.28	1.68	2.01	2.68	NS
	Auto Correlation	0.29	1.65	1.96	2.58	NS
Capazo	Mann-Kendall	-0.75	1.65	1.96	2.58	NS
	Spearman's Rho	-0.81	1.65	1.96	2.58	NS
	Linear regression	-0.63	1.68	2.01	2.68	NS
	Auto Correlation	1.56	1.65	1.96	2.58	NS

Fuente: resultados del Software TREND, en base a los datos que administra el SENAMHI.

Las tendencias significativas mediante los test paramétricos y no paramétricos de la precipitación media anual en las estaciones de Acora al 10% de nivel de significancia e llave al 05% de nivel de significancia, las lluvias tienden a incrementar levemente, mientras en las estaciones de Chilligua, Mazocruz y Laraqueri no se tiene cambios significativos estadísticamente, mientras que en la estación de Capazo la tendencia es negativa con todas las pruebas efectuadas, lo que indica una disminución de lluvias en la parte alta de la cuenca, finalmente,

en el periodo de 1964 al 2014 el comportamiento interanual en las estaciones en estudio presentan comportamientos similares, es decir, implica que no existe una tendencia evidente para el periodo analizado estadísticamente, pero muestran ciertas variaciones en la realidad.

Tabla 09: modelo de variables predictorias de precipitación media anual, 1964 - 2014.

Modelo	R	R ²	R ² corregido	Error tip. de la estimación
1.00	0.47	0.22	0.11	14.12

Fuente: elaboración Propia.

El modelo de regresión lineal presenta una tendencia con muy baja aproximación a la unidad, $R^2 = 0.22$, que es próximo a cero (0) denotándose muy poca relación directa con el incremento de precipitación media anual, es decir en los últimos 50 años hidrológicos no muestra variación significativo en el patrón de precipitación en la cuenca del río llave, presentándose cambios en el comportamiento de las lluvias menos significativos a su vez tienden a disminuir en casi todo el ámbito de estudio pero se muestra cambios significativos en la disponibilidad de humedad hídrica en la cuenca alta.

Tabla 10: modelo de variables predictorias de precipitación media anual, 1964 – 2014.

Modelo	Suma de cuadrados	GL	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	2,274.98	6	379.16	1.90	0.10
Residuos	8,775.02	44	199.43		
Total	11,050.00	50			

Fuente: Elaboración Propia.

En el tabla 10, el análisis de la hipótesis mediante la distribución F en el varianza es inversa ya que $F_c < F_t$, entonces no presenta cambios significativos estadísticamente en las precipitaciones, en estos últimos 50 años, así mismo el valor de significancia es 0.10 mayor que 0.05 el cual se asumió para la presente investigación.

Tabla 11: variables predictorias en las tendencias de precipitación media anual, 1964 - 2014

Estación	Coeficiente de Regresión		Coeficiente correlación R	N° Datos	ESTADISTICO T		Comparación	Tendencia Significativa
	Am	Bm			T calculada Tc	T tabla (95%) Tt		
	Ilave	53.8836			0.0133	0.0354		
Acora	58.6064	0.0144	0.0361	612	0.8922	1.9639	[Tc] < Tt	NO
Chilligua	49.4423	0.0135	0.0364	612	0.8996	1.9639	[Tc] < Tt	NO
Laraqueri	63.4504	-0.0016	-0.0039	612	-0.0963	1.9639	[Tc] < Tt	NO
Mazocruz	43.3574	0.0004	0.0013	612	0.0321	1.9639	[Tc] < Tt	NO
Capazo	47.787	-0.0103	-0.0272	612	-0.672	1.9639	[Tc] < Tt	NO

Fuente: Elaboración Propia.

Precisamos en el tabla 11 del análisis estadístico, las estaciones no muestran tendencia significativos y/o no presentan un comportamiento de variación significativo en los periodos de lluvias a consecuencia del proceso de incremento de la temperatura media en la superficie de aire ya que la prueba estadística de T student's, tiene la condición de $T_c < T_t$, lo que indica que no hay variación

significativa, los resultados de Tcalculada de las estaciones de Laraqueri y Capazo son negativos, lo que significa que hay una tendencia negativa, que representa ausencia de lluvias según la serie temporal de las precipitaciones. Durante el desarrollo de un episodio hidrológico, el comportamiento de las condiciones meteorológicas en el territorio se alteran, provocando anomalías en el comportamiento de las lluvias y temperaturas del aire superficial. En general, las precipitaciones en la cuenca del río de llave, presentan una tendencia anual estable o ligeramente descendente, mientras con las temperaturas ocurre lo contrario, ya que se denota cierto sesgo creciente (Belizario, 2012), ver Anexo G: Mapa de análisis de precipitación al 2020 y anexo G: Mapa de análisis de precipitación al 2050.

CONCLUSIONES

El comportamiento del promedio anual de las temperaturas medias, en la zona baja que son las estaciones de Acora e llave tienen tendencias positivas (incremento) de 1.5 a 2.3 °C al año 2050, la estación Laraqueri de la zona media tiene tendencia ascendente de 1.98 °C al año 2050; mientras que las estaciones de Mazocruz y Capazo de las zonas altas muestran tendencias al incremento de 2.3 a 1.2 °C al año 2050.

Las precipitaciones pluviales medias anuales presentan variaciones en el tiempo y espacio, pero estas no son significativas estadísticamente, ya que las estaciones de llave y Acora de la zona baja representa con variación positiva de 201 a 216 mm al año 2050 con moderadas lluvias; así mismo la estación Laraqueri de la zona media presentan variaciones al incremento de 202 mm al año 2050 con moderada variación de lluvia negativo; y las estaciones Mazocruz y Capazo de la zona alta tienen variaciones de 38 a -87 mm al año 2050, mostrando una ausencia de las precipitaciones.

RECOMENDACIONES

Se recomienda seguir trabajando el estudio de comportamiento de los elementos meteorológicos con las metodologías de series temporales y mayor número de longitud de datos, la cual contribuirá a la toma de decisiones adecuadas en base a los resultados de los estudios reales en el altiplano puneño.

Se encomienda a los compañeros a realizar estudios tomando en cuenta el fenómeno del cambio climático, a fin de impulsar acciones adaptación a dichos fenómenos y del aprovechamiento de los recursos hídricos, tomando en cuenta los futuros escenarios climáticos.

Así mismo se recomienda a los diversos sectores involucrados al fenómeno del cambio climático aprovechar estudio de los comportamientos de los elementos meteorológicos los conocimientos tradicionales de nuestros ancestros.

REFERENCIAS

- Ministerio del Medio Ambiente,. (2013). Plan nacional de adaptación al Cambio Climático. *Santiago - Chile*.
- Alfaro, E. J. (2007). Uso de analisis de correlacion canonica para la prediccion de la precipitacion pluvial en Centroamerica. *Ingenieria y Competitividad*, Vol 9. N° 2 33-48.
- Amador J, y Alfaro E. (2009). Métodos de reducción de escala: Aplicaciones al clima, variabilidad y cambio climático. *Revista REVIBEC*, 11:39-52.
- ANA. (2009). “*Evaluación de los Recursos Hídricos en la cuenca del río Ilave*” volumen I. Puno - Perú: Estudio Hidrológico.
- Anderson, D., Doblas-Reyes, F., Balmaseda, M., & y Weisheimer, A. (2009). Decadalvariability: Processes, predictability and prediction. *ECMWF Technical Memorandum*, (591), 47.
- Badan-Dangon, A., C. E. Dorman, M. A. Merrifield, and C. D. Winant. . (1991). The atmosphere over the Gulf of California. *J. Geophysical Res* 96., 16877-16896.
- Ballinas, H. A. (2011). *Efectos del Cambio Climático en el escurrimiento natural superficial de la cuenca del sistema Hidroeléctrico del río Grijalva*. México: Universidad Nacional Autónoma .

- Banco interamericano de Desarrollo. (1997). *Guía para la Evaluación de Impacto Ambiental para Proyectos de residuos sólidos municipales*. New York Avenue, N.W.: IDB Headquarters .
- Cane, M. A. (2010). decadal predicciones in demand. *Nature Geoscience*, (3) 231-232.
- Carbajal, M., Yarleque, C., Posada, A., Silvestre, E., & Mejia, A. &. (2010). Reconstrucción de datos faltantes de precipitación pluvial diaria mediante la Transformada Wavelet. *Revista peruana Geoatmosférica RPGA*, 76-88.
- Cigarán, M. (2005). *Convención de cambio climático: avances y perspectivas en el Perú*. Lima-Perú: CONAM.
- CONAM. (2005). *Escenarios del cambio climático en el Perú al 2050 Cuenca del río Piura*. Lima Peru: CONAM-PROCLIM-SENAMHI.
- CONAMA, (. N. (2010). Cambio Climático. *En Línea*: <http://www.sinia.cl/1292/w3-propertyvalue-15482.html>, Consultado 20 de noviembre del.
- Díaz Padilla, G., Sanchez Cohen, I., Quiroz, R., Garatuza Payán, J., Watts Thorp, C., & Cruz Medina, R. (2008). Interpolación espacial de la precipitación pluvial en la zona de barlovento y sotavento del golfo de México. *Agricultura Técnica en México Vol. 34 Núm. 3 Julio-Septiembre*, p. 279-287.
- Donoso M, y Ramírez P. (2001). LatinAmerica and theCaribbean: ReportontheClimate Outlook ForumsforMesoamerica. In:

Copingwiththeclimate: A step Forward. WorkshopReport. “A *multi-stakeholderreview of Regional Climate Outlook Forums*”, October 16-20 (2000), Pretoria, South Africa. PublicationIRI-CW/01/1, , pp. 11-18.

Donoso, M. (2005). *IX Jornadas de Trabajo CONAPHI, El agua y su impacto en el desarrollo de Chile; desafio al 2025*. Santiago de Chile: 3° Ponencia.

Douglas, A. V., and P.J. Englehart. (1997). Inter monthly variability of the Mexican summermonsoon.Twenty Second Annual Climate Diagnostics and Prediction Workshop. NOAA.USA, 207p.

Douglas, W. M., R. A. Maddox, and K. Howard. (1993). The Mexican Monsoon. *Meteorological Soc.* 6(8), 1665-1667.

Englehart, P. J., and A. V. Douglas. (2002). Mexican ssummerrainfall patterns: analysis af regional models and changes in theirteleconnectivity. *Atmosfera* 15, 147-164.

García-Solera I, y Ramírez P. (2012). Central America’sSeasonalClimate Outlook Forum. *TheClimateServicesPartnership*, 8 pp <http://climate-services.org/resource/central-american-climate-outlook-forum>, 8pp.

Gidding, L. & Soto, M. . (2006). Participacion de America Latina y del Caibe en los registros Globales Climatologicos, GHCN. *Interciencia: revista de Ciencia y tecnologia de America.*, 632-637.

Harnet, D.L. y Murray, J.L. (1980). *Introductory Statistical Analysis*. Massachussets USA: Addison Wesley 712 Pags.

- Hartkamp, A. D., De Beurs, K., & Stein, A. a. (1999). Interpolation techniques for climate Variables. *NRG-GIS, Series 99-01. CIMMYT. México, D. F.*
- Hong, Y., Nix, H. A., & Hutchinson, M. F. (2005). Spatial interpolation of monthly mean climate data for China. *International Journal of Climatology*, 25:1369-1379.
- INRENA, I. d. (2008). *Actualización del Balance Hidrico de la Cuenca del Rio Ramis*. Ayaviri-Melgar-Puno-Peru: ATDR Ramis.
- IPCC. (2007). Cambio Climático. *Informe de síntesis al cuarto informe de evaluación del grupo Ginebra – Suiza*.
- IPCC. (2007). Climate Change 2007: Climate Change Impacts, Adaptation and Vulnerability. *Summary for policy makers. IPCC WGII 4th. Praga República Checa*.
- IPCC. (2014). Cambio climático. *Impactos, adaptación y vulnerabilidad, contribución del grupo de trabajo II al quinto informe de evaluación*.
- Jiménez, E. (2013). Cambio climático y adaptación en el Altiplano Boliviano.
- Ministerio del Ambiente. (2013). *Línea base ambiental de la cuenca del lago Titicaca*. Lima – Perú.
- MOPT, M. d. (1992). *Atlas Nacional de España. Sección II. Grupo 7*. Madrid España: Edit. centro Nacional de información Geográfica.
- Mosiño, P., and E. Garcia. (1974). The climate of Mexico. *Climates of North America. World Survey of Climatology 11*, 345-404.

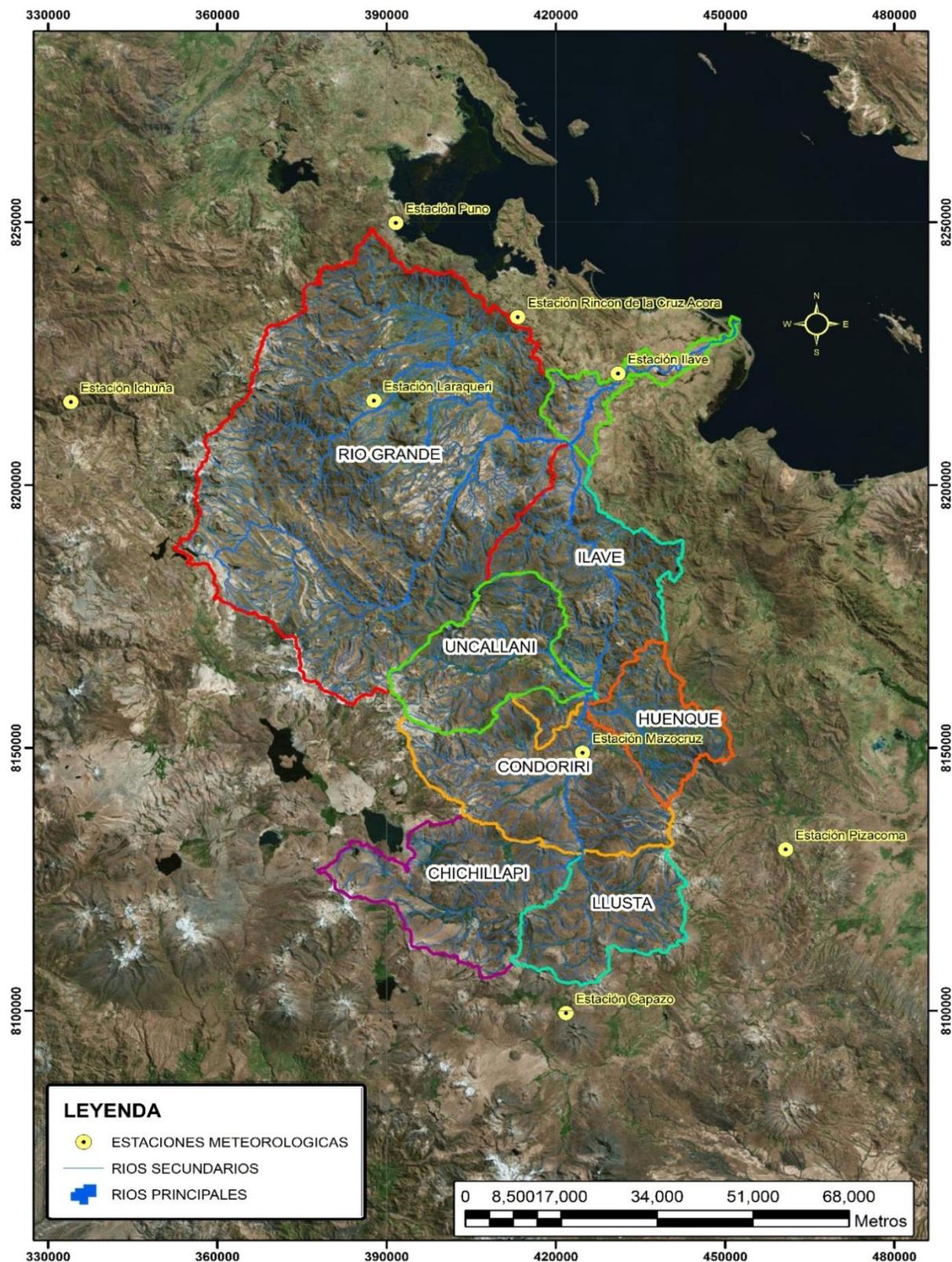
- ONERN. (1980). Inventario y Evaluación Nacional de las aguas Superficiales.
- ONERN. (1980). *Plan Nacional de Ordenamiento de los Recursos Hidráulicos del Perú- Bases Metodológicas*. Lima Perú: OEA CIDIAT-ONERN.
- Programa Nacional de Cambio Climático. (2010). Vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en Bolivia. *Resultados de un proceso de investigación participativa en las regiones del lago Titicaca y los valles Cruceños*.
- PRORRIDRE. (1995). Estudio Hidrológico Proyecto Derivación Kovire-Huenque. *Informe*.
- Sanabria, J., Marengo, J., y Velarde, M. (2010). Escenarios de cambio Climático con modelos regionales sobre el Altiplano Peruano (Departamento de Puno) Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología. *SENAMHI*.
- Seco, A., Ramírez, F., Serna, E., Prieto, E., García, R., Moreno, A., y otros. (2012). Rain pattern analysis and forecast model based on GPS estimated atmospheric water vapor content. *Atmospheric Environment*, Volume 49: 85–93.
- SENAMHI. (2009). Escenarios Climáticos en el Perú para el año 2030” segunda comunicación nacional de cambio climático. *Lima – Perú*.
- Smith, D. M., & and Murphy, J. M. (2007). An Objective ocean temperature and salinity analysis using covariances from a global climate model. *J. Geophys, Res.*, 112.

- TDPS, T.-D.-S. (2011). *Perspectivas del Medio Ambiente*. Impreso en Colombia por Panamericana Formas e Impresos, S.A.: Publicado por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).
- Transporte), M. M. (1992). *Atlas Nacional de España. Edafología. Sección II. Grupo 7*. Madrid España: Edit. centro Nacional de Información geográfica.
- Tumi, A. y. (2012). "Estrategias de adaptación frente al cambio climático en familias rurales del Altiplano Puneño. estudio de caso en el centro poblado de Huancho Huancane -Puno Peru.
- Valdivia, E. (2010). El análisis espacial como temporal de las tendencias climáticas para el Altiplano. *La Paz, Bolivia*.
- Vargas, P. (2009). El Cambio Climático y sus Efectos en el Perú. *BCRP – Serie de Documentos de Trabajo julio-2009*.
- Vergara, K. V. (2011). Variabilidad climática, percepción ambiental y estrategias de adaptación de la comunidad campesina de Conchucos, Ancash. *Universidad Católica del Perú*.
- Wang, C. (2006). An overlooked feature of tropical climate: inter-Pacific-Atlantic variability. *Geophysical Research Letters* 33 (12), L12702.1-L12702.5.
- Wang, C. Enfield, D. B., Lee, S. K., & Landsea, C. W. (2006). Influences of the Atlantic warm pool on western hemisphere summer rainfall and Atlantic hurricanes. *Journal of climate* 19 (12), 3011-3028.

Yarlequé, C., Posadas, A., & Quiroz, R. (2007). Reconstrucción de datos de precipitación pluvial en series de tiempo mediante transformadas de wavelet con dos niveles de descomposición. *División de Manejo de Recursos Naturales. Centro Internacional de la Papa.*

ANEXO

Anexo A: ubicación en la vertiente del Titicaca



Fuente: Elaboración Propia.

Anexo B: temperatura máxima mensual (C°)

TEMPERATURA MAXIMA MENSUAL (C°); ESTACION: MAZOCRUZ													
Codigo: 110878	Pais: Peru		Distrito: Mazocruz				Altitud: (msnm): 4003.00						
Cuenca: Ilave		Dpto: Puno		Latitud Sur: 16°44'24.4"				Zona Geografica: 19Sur					
Tipo: CO		Prov. El Collao		Longitud Oeste: 69°42'21.9"				Propietario: Senamhi					
AÑO	MESES												PROM ANUAL
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
1964	14.0	16.4	17.7	17.4	16.7	14.5	14.6	15.4	17.0	18.8	19.1	17.6	16.6
1965	18.1	15.6	15.0	15.9	15.2	14.6	13.7	14.6	15.1	17.0	19.2	15.2	15.8
1966	18.8	18.0	16.9	17.7	14.3	14.0	15.2	16.4	17.9	17.8	17.3	17.3	16.8
1967	18.1	15.6	15.0	15.9	15.2	14.6	13.7	14.6	15.1	17.0	19.2	15.2	15.8
1968	15.0	14.5	14.5	14.4	13.8	14.5	14.0	15.3	16.4	16.9	15.0	16.4	15.1
1969	14.0	16.4	17.7	17.4	16.7	14.5	14.6	15.4	17.0	18.8	19.1	17.6	16.6
1970	16.3	16.0	14.8	15.8	15.5	14.8	14.3	15.2	16.9	18.3	18.8	16.4	16.1
1971	15.4	13.1	15.4	16.0	14.7	13.5	13.7	15.9	17.7	17.7	18.1	15.1	15.5
1972	13.4	13.7	14.1	15.5	14.7	14.4	15.3	15.7	16.0	18.0	18.2	17.1	15.5
1973	16.2	15.1	15.9	16.0	15.7	14.4	13.8	15.3	15.5	17.9	18.7	17.6	16.0
1974	13.8	13.6	14.5	14.2	15.0	13.4	14.5	12.7	14.8	16.4	17.1	17.1	14.8
1975	14.5	13.0	14.5	15.6	15.4	13.5	13.1	15.3	16.2	17.2	19.2	17.5	15.4
1976	14.8	15.3	15.0	16.0	14.4	13.4	13.4	14.8	14.0	17.5	17.8	16.7	15.3
1977	17.7	14.3	14.5	15.5	14.3	14.0	14.8	15.5	16.2	16.5	16.8	16.7	15.6
1978	14.0	16.1	15.3	15.3	15.0	14.5	14.7	15.0	15.1	16.1	15.9	15.0	15.2
1979	14.3	16.8	14.7	16.4	14.6	15.1	13.6	15.4	16.6	16.7	18.7	16.3	15.8
1980	17.6	17.4	14.3	14.6	14.6	15.1	14.7	16.3	15.8	17.9	18.3	16.6	16.1
1981	13.4	12.4	16.3	15.5	15.3	14.0	14.7	14.2	13.8	17.2	18.8	17.1	15.2
1982	14.4	16.3	15.2	14.6	14.9	13.8	14.5	15.3	14.8	16.3	16.7	18.7	15.5
1983	19.6	18.4	19.9	18.2	16.7	14.6	15.3	17.0	15.9	18.4	19.3	16.4	17.5
1984	13.0	12.8	13.7	15.4	15.6	15.3	15.8	14.2	15.8	16.3	16.0	16.6	15.0
1985	16.2	13.6	15.9	14.7	15.0	12.7	13.6	16.5	15.5	17.5	14.7	14.2	15.0
1986	14.5	13.4	14.2	13.3	13.8	14.5	13.1	14.8	15.4	17.4	17.6	15.0	14.8
1987	15.0	13.5	17.0	18.1	16.0	14.1	13.6	16.5	17.6	17.6	17.9	17.9	16.2
1988	14.1	15.9	15.0	16.8	15.9	15.1	15.1	18.5	19.0	21.0	19.2	16.3	16.8
1989	13.2	12.6	13.0	13.9	14.7	14.9	14.8	16.0	16.8	16.3	16.6	18.6	15.1
1990	15.5	16.4	16.5	16.5	15.1	11.9	14.3	13.4	15.6	17.0	15.8	14.4	15.2
1991	12.6	13.3	13.5	14.2	17.4	15.4	14.4	12.9	12.4	16.1	16.7	15.8	14.6
1992	13.0	14.5	17.3	16.7	16.1	13.8	12.9	11.9	14.1	15.3	15.2	15.3	14.7
1993	11.9	14.4	11.9	14.0	14.1	13.7	13.5	12.6	15.6	15.2	15.0	15.0	13.9
1994	14.1	12.7	13.4	14.1	14.1	12.5	13.4	15.3	15.6	17.1	16.4	14.4	14.4
1995	14.6	16.0	14.1	16.1	15.1	15.4	15.7	17.2	16.2	15.2	15.9	15.8	15.6
1996	14.6	13.4	14.9	14.0	13.9	13.5	13.8	15.0	15.7	17.1	15.2	14.6	14.6
1997	12.7	11.8	12.8	12.7	14.3	14.3	15.2	12.9	15.4	16.9	16.9	18.2	14.5
1998	16.0	17.0	17.8	17.6	17.1	14.1	15.1	16.4	16.0	17.7	16.7	18.3	16.7
1999	16.4	13.7	14.6	16.1	16.7	16.0	15.2	16.8	17.4	17.1	20.1	20.1	16.7
2000	15.3	15.6	16.1	17.6	17.1	14.7	14.1	15.9	18.1	17.4	20.7	18.3	16.7
2001	14.5	14.5	15.5	17.5	16.8	14.8	13.8	14.7	17.0	18.2	19.4	17.4	16.2
2002	17.3	14.4	13.8	13.5	14.9	14.1	11.0	15.2	17.7	17.3	19.0	17.9	15.5
2003	17.2	16.8	16.1	16.7	16.3	16.2	15.9	15.8	16.6	19.2	20.3	19.6	17.2
2004	15.3	16.1	17.3	17.0	15.8	14.7	13.2	13.8	16.9	19.0	20.1	19.8	16.6
2005	16.7	14.6	17.1	16.7	16.1	14.6	15.1	15.9	15.1	17.5	18.1	16.7	16.2
2006	14.2	15.3	15.1	15.5	15.1	14.8	16.4	17.3	18.6	20.6	19.4	19.3	16.8
2007	17.4	17.4	16.2	17.7	16.6	17.4	16.0	18.4	17.1	19.9	19.3	18.4	17.7
2008	17.3	17.5	16.0	17.9	16.0	17.6	16.1	18.3	17.0	19.8	19.2	18.3	17.6
2009	17.3	17.6	17.4	18.4	16.4	17.6	16.0	18.6	18.3	20.5	19.3	19.3	18.1
2010	17.4	17.7	18.7	18.8	16.8	17.6	17.0	18.8	19.5	19.4	20.7	17.8	18.4
2011	17.9	14.8	15.8	17.4	16.9	16.4	15.5	17.8	18.0	19.8	21.0	17.4	17.4
2012	15.9	14.7	16.2	16.0	16.7	16.1	16.6	17.6	18.9	20.0	20.5	16.8	17.2
2013	16.0	16.6	17.8	15.2	17.0	14.9	16.1	16.7	18.7	19.1	20.4	17.6	17.2
2014	17.9	14.8	15.8	17.4	16.9	16.4	15.5	17.8	18.0	19.8	21.0	17.4	17.4
TOTAL	788.5	771.4	791.9	815.4	793.0	750.3	744.0	798.8	837.4	906.8	925.7	866.1	815.8
MEDIA	15.5	15.1	15.5	16.0	15.5	14.7	14.6	15.7	16.4	17.8	18.2	17.0	16.0

Fuente: SENAMHI

Anexo C: temperatura media mensual (C°)

TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (C°); ESTACION: MAZOCRUZ													
Codigo: 110878		Pais: Peru		Distrito: Mazocruz				Altitud: (msnm): 4003.00					
Cuenca: Ilave			Dpto: Puno		Latitud Sur: 16°44'24.4"				Zona Geografica: 19Sur				
Tipo: CO		Prov. El Collao			Longitud Oeste: 69°42'21.9"				Propietario: Senamhi				
AÑO	MESES												PROM ANUAL
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
1964	8.1	9.3	9.0	5.7	4.5	1.7	-0.4	0.5	2.2	5.7	9.7	8.0	5.3
1965	9.5	7.6	6.9	6.1	1.9	0.9	-1.7	-0.4	1.6	3.6	5.1	8.0	4.1
1966	8.1	9.3	9.0	5.7	4.5	1.7	-0.4	0.5	2.2	5.7	9.7	8.0	5.3
1967	9.5	7.6	6.9	6.1	1.9	0.9	-1.7	-0.4	1.6	3.6	5.1	8.0	4.1
1968	8.7	9.2	7.5	5.1	2.7	-0.4	-1.4	1.5	3.3	8.2	8.3	8.2	5.1
1969	8.0	8.5	8.2	5.1	2.8	1.2	0.0	1.8	4.8	4.5	4.7	5.9	4.6
1970	8.6	8.4	7.4	4.2	3.1	1.7	-0.7	0.4	1.9	4.7	7.6	7.4	4.6
1971	8.0	8.3	8.4	5.8	2.0	0.5	-0.6	-0.3	2.9	4.4	7.3	7.3	4.5
1972	8.6	7.8	6.8	6.0	2.1	1.0	-1.4	-0.1	2.5	4.2	4.9	8.6	4.3
1973	7.8	7.6	7.2	4.4	0.9	-1.2	-1.9	0.0	2.3	3.0	6.8	6.9	3.7
1974	7.5	7.4	7.2	4.8	0.9	-1.4	0.1	-0.1	3.6	4.4	7.3	8.3	4.2
1975	9.0	9.1	8.2	7.8	3.7	0.0	-0.6	1.7	4.6	6.0	6.7	6.8	5.3
1976	7.8	7.9	6.6	3.9	0.9	-0.5	0.6	1.2	3.2	3.6	4.3	6.8	3.9
1977	7.3	7.7	7.9	4.9	2.5	0.2	-2.1	-0.4	2.6	4.0	6.3	8.4	4.1
1978	8.2	8.0	8.0	4.2	1.8	-1.3	-1.8	0.3	2.0	3.0	3.7	7.3	3.6
1979	7.8	7.2	8.0	4.2	0.4	-1.3	-0.1	0.3	3.6	4.3	6.4	7.4	4.0
1980	7.7	8.6	6.7	6.0	2.3	0.9	-0.3	1.8	1.4	3.6	6.3	7.8	4.4
1981	7.9	7.5	7.9	4.0	-1.5	1.1	-0.9	-1.2	1.5	4.4	5.5	6.1	3.5
1982	6.6	5.9	6.3	4.2	0.0	-1.7	-0.1	0.6	1.7	4.6	6.5	7.5	3.5
1983	7.8	8.2	8.2	4.3	3.0	-0.6	0.0	1.9	2.8	4.9	7.5	9.4	4.8
1984	8.4	8.0	7.3	4.6	1.2	-0.9	0.5	1.3	3.2	5.9	7.6	6.5	4.5
1985	8.2	7.9	7.2	5.8	2.5	1.7	1.4	4.3	5.6	5.1	4.9	6.1	5.1
1986	7.2	8.2	7.6	5.7	3.3	3.0	1.3	1.1	1.4	7.3	7.8	7.8	5.1
1987	9.4	8.2	8.7	6.8	5.1	3.2	0.8	3.3	4.5	4.1	6.6	7.9	5.7
1988	8.0	7.9	8.3	5.8	3.9	2.4	-0.7	2.1	3.0	4.0	7.0	8.1	5.0
1989	9.3	4.9	7.2	6.7	4.1	1.3	2.0	1.9	3.0	5.0	7.5	5.9	4.9
1990	7.3	6.9	8.3	8.4	5.4	1.6	1.3	2.5	9.0	8.2	4.6	6.5	5.8
1991	6.2	5.7	6.2	5.8	3.7	3.9	2.9	2.7	3.5	3.2	6.9	6.0	4.7
1992	7.9	6.3	6.5	4.6	2.3	1.8	0.5	0.2	0.6	5.9	7.3	6.7	4.2
1993	5.7	4.7	4.8	3.6	2.6	-0.1	-0.6	-1.3	1.1	4.0	4.4	5.0	2.8
1994	5.4	5.6	5.6	4.3	1.9	0.6	-0.7	-0.5	0.1	3.9	5.1	5.7	3.1
1995	5.6	4.9	4.9	4.0	1.7	-1.2	-0.7	1.4	2.6	4.7	5.5	7.0	3.4
1996	7.0	5.7	5.1	4.8	-1.1	-1.8	0.4	0.9	2.3	3.1	5.7	6.0	3.2
1997	6.9	6.5	7.1	4.2	0.9	0.2	0.8	2.2	3.6	0.5	4.1	6.2	3.6
1998	6.4	6.6	5.6	4.4	1.8	-0.7	-0.7	2.1	2.0	3.6	5.0	6.7	3.6
1999	6.7	6.2	5.5	3.0	1.5	-0.4	0.4	2.0	5.3	4.3	6.3	7.5	4.0
2000	8.9	8.2	8.1	5.6	2.1	1.4	1.0	2.1	1.9	5.3	5.5	7.6	4.8
2001	7.9	8.3	8.8	7.6	4.2	1.7	2.3	3.3	4.0	7.0	5.9	9.0	5.8
2002	9.2	9.5	8.7	6.9	4.4	1.4	0.2	2.7	4.2	6.5	6.6	9.3	5.8
2003	9.0	9.5	9.5	8.5	5.1	1.8	-0.3	1.8	4.1	5.3	7.1	6.9	5.7
2004	7.7	8.0	7.1	5.9	4.6	1.6	0.6	2.2	4.6	7.3	7.5	8.5	5.5
2005	9.6	9.2	8.9	6.3	4.1	0.6	1.5	1.6	2.5	5.3	6.6	8.3	5.4
2006	9.4	8.5	8.5	6.4	1.1	0.0	1.7	3.4	4.2	5.3	6.0	8.3	5.2
2007	8.7	8.3	8.3	6.1	1.2	-1.9	-0.1	-0.9	2.3	4.4	6.0	7.9	4.2
2008	8.2	7.7	8.2	6.0	2.0	0.4	0.6	3.0	4.5	9.0	9.8	9.1	5.7
2009	8.9	9.3	9.2	7.5	4.3	3.2	1.8	3.4	5.6	6.6	6.7	8.8	6.3
2010	8.9	9.8	8.8	8.0	4.5	3.8	1.8	3.5	5.6	6.6	6.7	8.7	6.4
2011	9.4	9.8	8.2	7.3	4.6	3.8	1.1	2.8	5.1	5.9	9.3	9.9	6.4
2012	9.9	10.5	9.0	7.1	4.5	3.4	0.7	2.7	4.5	5.6	5.4	8.7	6.0
2013	9.0	9.1	8.2	6.8	4.3	2.7	2.2	3.7	4.8	5.7	8.2	8.6	6.1
2014	8.9	9.4	8.5	10.4	4.9	2.8	3.3	2.7	3.8	7.0	8.2	9.5	6.6
TOTAL	411.7	400.4	386.2	291.4	137.1	44.7	11.9	73.8	164.8	256.0	331.5	386.8	241.3
MEDIA	8.1	7.9	7.6	5.7	2.7	0.9	0.2	1.4	3.2	5.0	6.5	7.6	4.7

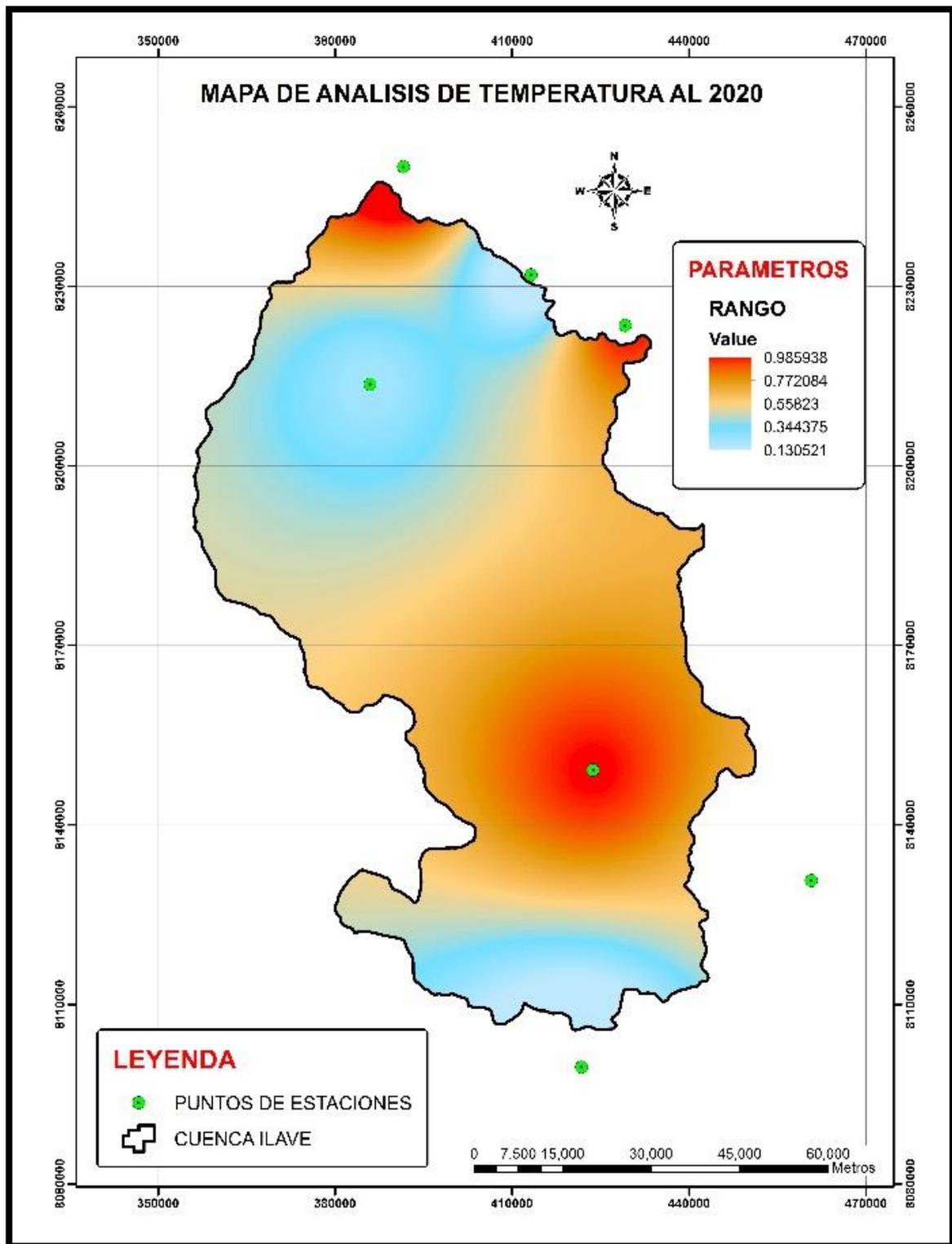
Fuente: SENAMHI

Anexo D: temperatura mínima mensual (C°)

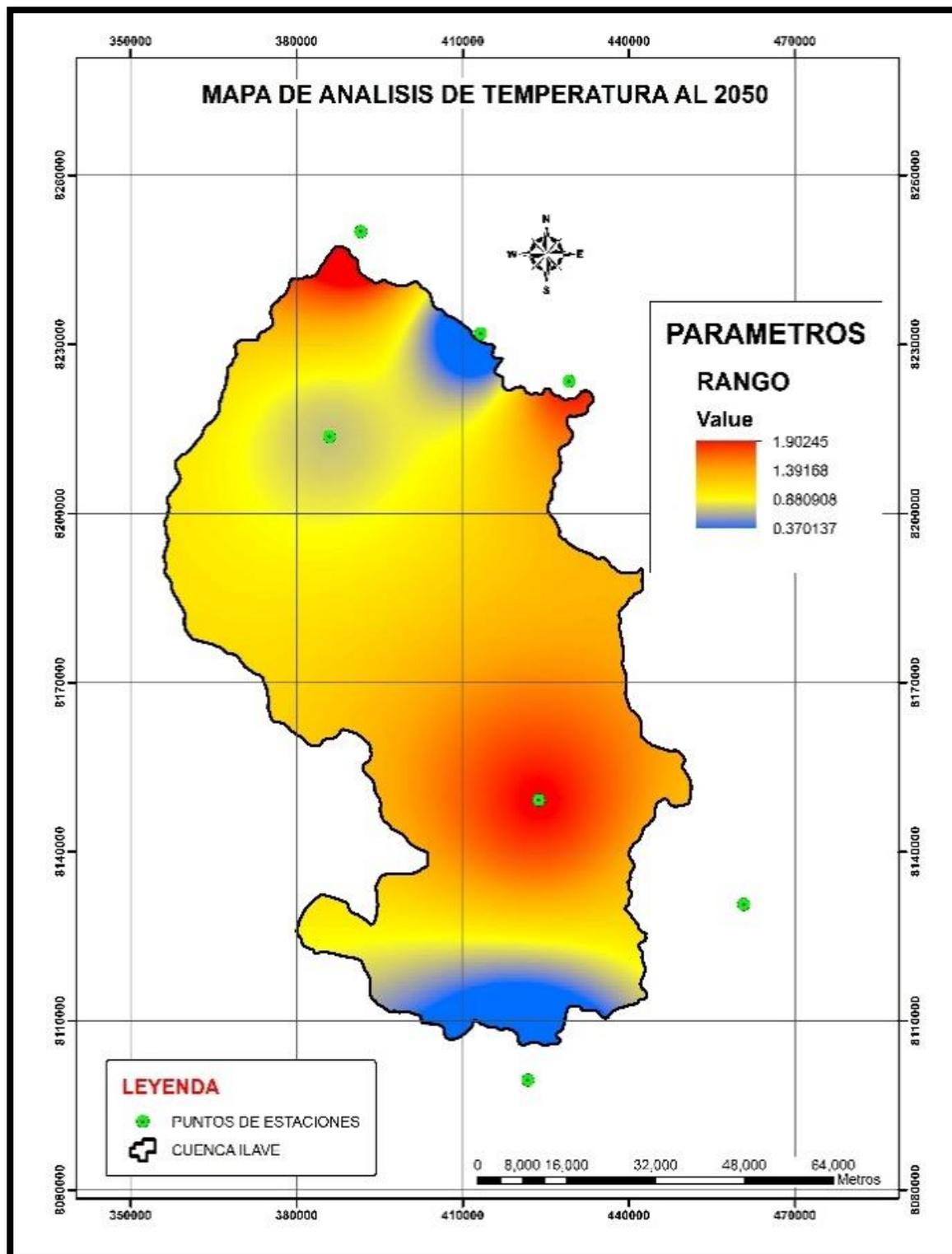
TEMPERATURA MINIMA MENSUAL (C°); ESTACION: MAZOCRUZ													
Codigo: 110878	Pais: Peru			Distrito: Mazocruz				Altitud: (msnm): 4003.00					
Cuenca: Ilave		Dpto: Puno		Latitud Sur: 16°44'24.4"				Zona Geografica: 19Sur					
Tipo: CO		Prov. El Collao		Longitud Oeste: 69°42'21.9"				Propietario: Senamhi					
AÑO	MESES												PROM ANUAL
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
1964	2.2	2.2	0.3	-6.0	-7.7	-11.2	-15.4	-14.5	-12.7	-7.5	0.2	-1.6	-6.0
1965	0.8	-0.5	-1.3	-3.8	-11.4	-12.9	-17.0	-15.4	-11.9	-9.9	-9.0	0.7	-7.6
1966	-1.4	0.3	-2.0	-7.6	-9.0	-14.7	-18.0	-13.5	-11.4	-1.5	-0.7	-0.9	-6.7
1967	-2.1	1.3	1.4	-5.7	-9.6	-12.2	-13.6	-11.1	-5.5	-8.1	-9.8	-3.4	-6.5
1968	2.2	2.2	0.3	-6.0	-7.7	-11.2	-15.4	-14.5	-12.7	-7.5	0.2	-1.6	-6.0
1969	1.9	0.2	-0.9	-5.8	-12.7	-13.6	-15.7	-16.0	-11.2	-10.0	-4.6	-3.0	-7.6
1970	0.8	-0.5	-1.3	-3.8	-11.4	-12.9	-17.0	-15.4	-11.9	-9.9	-9.0	0.7	-7.6
1971	0.1	2.0	-1.1	-7.2	-13.0	-15.9	-17.5	-15.8	-13.1	-11.8	-4.6	-1.3	-8.3
1972	1.5	1.1	0.2	-6.0	-12.9	-17.2	-15.1	-15.9	-8.8	-9.2	-3.7	-0.6	-7.2
1973	1.7	3.0	0.5	-0.4	-8.4	-14.4	-14.9	-12.0	-6.4	-5.9	-5.4	-4.0	-5.6
1974	1.7	2.1	-1.4	-6.4	-13.2	-14.3	-13.4	-10.3	-8.4	-9.2	-8.6	-3.6	-7.1
1975	0.1	2.3	1.3	-5.8	-10.4	-13.2	-17.3	-16.1	-11.1	-9.2	-6.7	-0.7	-7.2
1976	1.5	0.7	0.9	-7.6	-10.9	-15.9	-17.0	-14.2	-10.0	-11.6	-10.5	-2.2	-8.1
1977	-2.2	0.1	1.4	-7.1	-13.6	-16.5	-15.1	-14.9	-9.0	-7.9	-4.1	-1.9	-7.6
1978	1.4	1.1	-2.0	-3.3	-10.4	-12.7	-15.3	-11.5	-12.4	-8.9	-3.3	0.5	-6.4
1979	1.5	-1.8	1.0	-8.5	-17.6	-12.9	-15.3	-17.7	-13.6	-8.0	-7.8	-4.1	-8.7
1980	-4.4	-5.7	-1.7	-6.2	-14.5	-18.5	-14.8	-15.1	-12.4	-8.7	-5.3	-1.6	-9.1
1981	2.2	4.0	0.1	-6.9	-9.4	-15.2	-14.6	-10.5	-8.2	-7.5	-3.9	1.6	-5.7
1982	2.4	-0.4	-0.6	-5.4	-12.6	-15.6	-13.6	-12.8	-8.5	-4.6	-1.5	-5.8	-6.6
1983	-3.2	-2.7	-5.5	-6.7	-11.7	-11.2	-12.5	-8.5	-4.7	-8.2	-9.5	-4.3	-7.4
1984	1.3	3.5	1.4	-4.0	-9.0	-9.4	-13.3	-12.1	-13.1	-1.8	-0.5	-1.0	-4.8
1985	2.6	2.7	1.5	-1.1	-4.8	-6.4	-12.1	-10.0	-6.6	-9.4	-1.6	1.6	-3.6
1986	1.4	2.4	2.4	-1.8	-6.0	-9.7	-14.5	-10.6	-9.5	-9.4	-3.7	1.1	-4.8
1987	3.6	-3.8	-2.7	-4.8	-7.8	-11.5	-9.6	-12.7	-11.6	-7.6	-3.0	-6.1	-6.5
1988	0.5	-2.1	1.6	0.0	-5.1	-11.9	-12.5	-13.6	-1.1	-4.6	-10.0	-3.3	-5.2
1989	-0.8	-1.2	-0.7	-2.3	-7.3	-7.2	-9.1	-10.6	-9.9	-10.0	-2.9	-6.6	-5.7
1990	0.3	-3.8	-3.6	-7.4	-10.6	-8.4	-13.3	-13.0	-14.3	-5.3	-1.3	-1.1	-6.8
1991	-1.3	-4.0	-3.9	-7.0	-12.2	-15.6	-15.6	-15.4	-10.3	-8.1	-7.9	-5.8	-8.9
1992	-2.3	-3.3	-6.2	-8.1	-12.3	-12.6	-14.3	-12.8	-13.8	-7.5	-5.1	-4.0	-8.5
1993	-0.7	-4.6	-2.1	-6.0	-10.7	-16.0	-14.8	-9.8	-10.5	-5.9	-4.0	-1.1	-7.2
1994	-0.2	-1.3	-3.2	-4.5	-16.2	-16.1	-12.6	-13.5	-11.0	-11.0	-5.1	-2.4	-8.1
1995	-0.9	-3.1	0.1	-7.7	-13.3	-15.1	-14.1	-12.9	-9.1	-14.2	-7.7	-3.4	-8.5
1996	-1.9	-0.2	-3.8	-5.3	-10.3	-14.8	-15.2	-10.9	-11.8	-10.0	-5.3	-1.2	-7.6
1997	0.6	0.6	-1.9	-6.8	-11.4	-15.0	-14.4	-9.0	-4.9	-8.4	-4.4	-3.2	-6.5
1998	1.7	-0.6	-1.7	-6.5	-13.0	-11.4	-13.2	-12.3	-12.2	-7.2	-5.7	-3.2	-7.1
1999	-0.7	2.9	3.0	-0.9	-8.3	-12.7	-10.6	-10.3	-9.4	-3.2	-8.4	-2.2	-5.1
2000	3.1	3.4	1.3	-3.8	-8.4	-11.9	-13.7	-10.6	-9.7	-4.5	-7.5	0.2	-5.2
2001	3.4	4.4	3.4	-0.5	-6.7	-11.2	-14.4	-11.2	-8.9	-7.6	-5.2	-3.6	-4.8
2002	-2.0	1.5	0.3	-1.8	-5.8	-10.9	-9.8	-10.9	-8.5	-2.8	-4.1	-0.9	-4.6
2003	1.9	1.5	1.7	-4.2	-8.2	-14.9	-13.0	-12.7	-11.6	-8.6	-7.1	-3.1	-6.5
2004	3.4	0.9	-0.4	-4.2	-13.7	-14.6	-9.8	-7.0	-8.6	-8.4	-8.1	-3.3	-6.2
2005	0.7	1.9	-0.6	-4.5	-13.8	-18.4	-15.3	-17.7	-10.5	-8.8	-6.2	-0.9	-7.8
2006	2.1	0.0	1.2	-3.6	-11.1	-14.1	-15.2	-11.4	-9.6	-2.6	0.2	-1.1	-5.4
2007	0.3	1.1	2.1	-2.8	-8.1	-11.0	-12.5	-11.7	-5.9	-6.8	-5.9	-0.9	-5.2
2008	0.4	0.2	1.5	-2.0	-7.0	-10.0	-12.5	-11.3	-5.8	-6.7	-5.9	-0.9	-5.0
2009	1.5	2.0	-0.9	-3.8	-7.3	-10.0	-13.8	-12.9	-8.1	-8.8	-0.6	0.5	-5.2
2010	2.4	3.2	-0.8	-4.7	-7.9	-10.9	-15.6	-13.3	-10.5	-8.3	-9.9	-0.5	-6.4
2011	0.1	3.3	0.5	-3.7	-8.2	-11.0	-11.2	-10.4	-8.3	-8.4	-4.6	-0.1	-5.2
2012	2.1	2.7	0.9	-0.6	-9.1	-12.7	-13.3	-12.9	-10.3	-6.6	-4.3	2.1	-5.2
2013	1.8	2.2	-0.9	5.7	-7.2	-9.3	-9.5	-11.3	-11.0	-5.1	-4.0	1.4	-3.9
2014	0.1	3.3	0.5	-3.7	-8.2	-11.0	-11.2	-10.4	-8.3	-8.4	-4.6	-0.1	-5.2
TOTAL	33.3	26.7	-20.4	-228.6	-517.1	-657.9	-708.5	-640.9	-498.6	-391.1	-262.0	-90.3	-329.6
MEDIA	0.7	0.5	-0.4	-4.5	-10.1	-12.9	-13.9	-12.6	-9.8	-7.7	-5.1	-1.8	-6.5

Fuente: SENAMHI

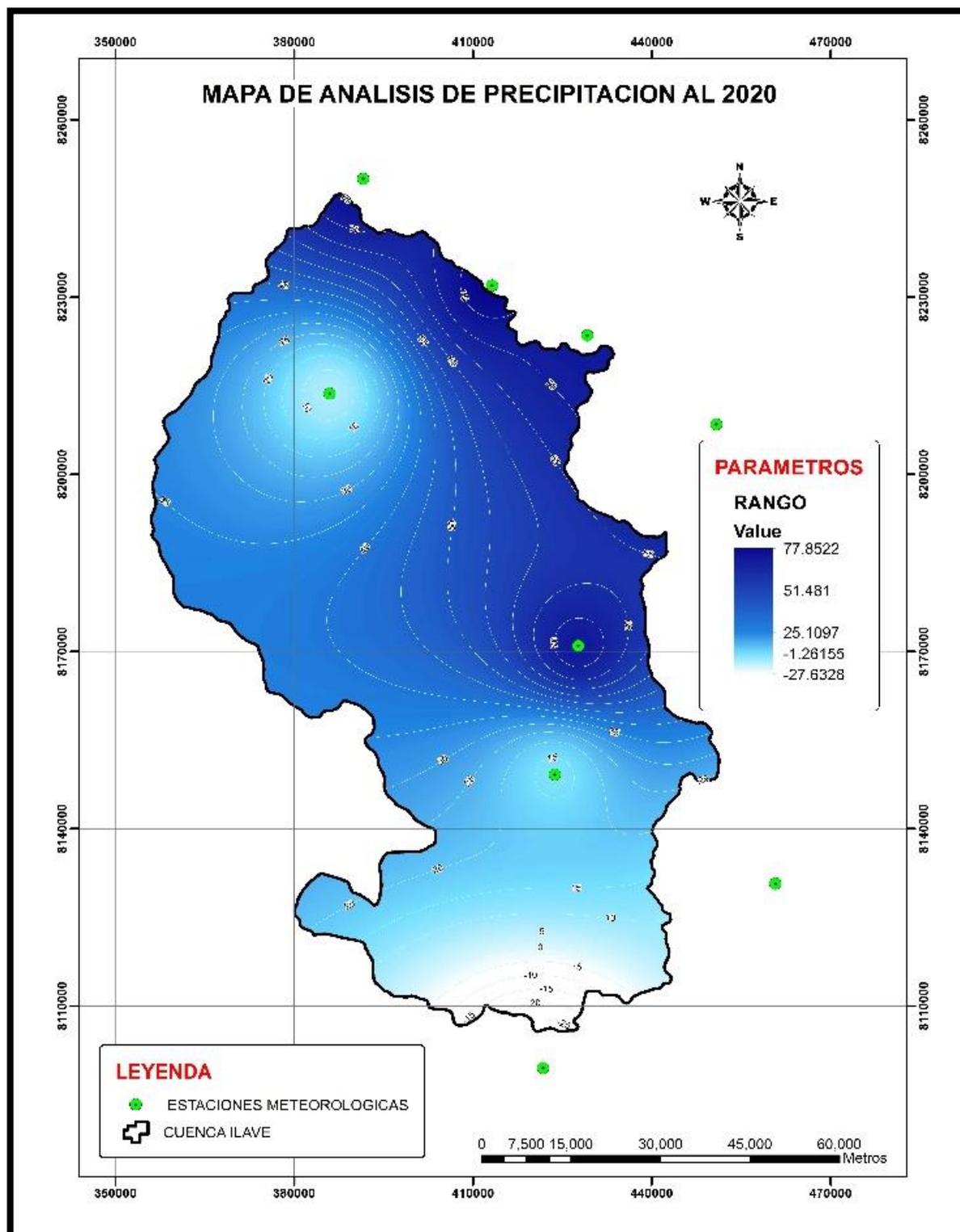
Anexo E: mapa de análisis de temperatura al 2020



Anexo F: mapa de análisis de temperatura al 2050



Anexo G: mapa de análisis de precipitación al 2020



Anexo H: mapa de análisis de precipitación al 2050

