

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
ESCUELA DE POSGRADO
DOCTORADO EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO
AMBIENTE



TESIS

EFFECTO DE LA TEMPERATURA Y PRECIPITACIÓN SOBRE LA
AGRICULTURA EN LA CUENCA COATA - PUNO

PRESENTADA POR:

CIRILO MARIO CCAIRA MAMANI

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

DOCTORIS SCIENTIAE EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y
MEDIO AMBIENTE

PUNO, PERÚ

2018

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
ESCUELA DE POSGRADO
DOCTORADO EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE



TESIS

EFFECTO DE LA TEMPERATURA Y PRECIPITACIÓN SOBRE
LA AGRICULTURA EN LA CUENCA COATA - PUNO

PRESENTADA POR:

CIRILO MARIO CCAIRA MAMANI

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

DOCTORIS SCIENTIAE EN CIENCIA, TECNOLOGÍA
Y MEDIO AMBIENTE

APROBADA POR EL JURADO SIGUIENTE:

PRESIDENTE

.....
Ph. D. BERNARDO ROQUE HUANCA

PRIMER MIEMBRO

.....
Dr. JUAN REYNALDO PAREDES QUISPE

SEGUNDO MIEMBRO

.....
D.Sc. GERMAN BELLZARIO QUISPE

ASESOR DE TESIS

.....
D. Sc. RUBEN TICONA HUAYHUA

Puno, 26 de Mayo del 2017

ÁREA: Tecnología y medio ambiente.

TEMA: Temperatura y precipitación sobre la agricultura.

LÍNEA: impacto tecnológico y ambiental.

DEDICATORIA

A nuestro creador padre todopoderoso, por haberme guiado por la ruta del saber y del bien, el cual nos otorga el poder de decidir por nosotros mismos, acertando o equivocándonos en la medida de nuestras humanas posibilidades, y para ello hemos de escuchar tanto al corazón como a la cabeza.

A mis padres, por el permanente e inmensurable apoyo, con todo cariño e inmensa gratitud, quienes con su aliento, paciencia, por sus sabios consejos y su gran esfuerzo para forjar a sus hijos, hicieron posible el logro de mi noble Grado de Doctoris Scientiae.

A mis hermanos: con mucho afecto y cariño, por su contribución a mi buena formación y especialización.

AGRADECIMIENTOS

- A la Universidad Nacional del Altiplano de Puno y a la Escuela de Posgrado, por la formación óptima, en especial a los docentes del Programa de Doctorado en Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente.
- A los señores jurados de tesis doctoral: Ph. D. Bernardo Roque Huanca, Dr. Reynaldo Paredes Quispe y Dr. Germán Belizario Quispe por sus consejos, sugerencias y recomendaciones durante la ejecución del presente trabajo.
- Al Dr. Rubén Ticona Huayhua, asesor de esta Tesis Doctoral, por su apoyo, consejos, correcciones y sus conocimientos durante la elaboración de este trabajo.
- Al Ing. Rigoberto Laura Sucasaca por su incondicional y exhaustiva participación en el presente trabajo de investigación.
- A la plana docente de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica de la Universidad Nacional del Altiplano y en especial a mis compañeros del Doctorado en Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente que han bregado, gracias por vuestro apoyo.
- Finalmente, al señor Director del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) Puno y Director Regional de Agricultura Puno, quienes han brindado su apoyo en la realización del presente trabajo de investigación.

ÍNDICE GENERAL

| | Pág. |
|-------------------|-------------|
| DEDICATORIA | i |
| AGRADECIMIENTOS | ii |
| ÍNDICE GENERAL | iii |
| ÍNDICE DE TABLAS | vii |
| ÍNDICE DE FIGURAS | ix |
| ÍNDICE DE ANEXOS | x |
| RESUMEN | viii |
| ABSTRACT | ix |
| INTRODUCCIÓN | 1 |

CAPÍTULO I**REVISIÓN DE LITERATURA**

| | |
|---------------------------------|----|
| 1.1 Marco teórico | 4 |
| 1.1.1 Políticas internacionales | 4 |
| 1.1.2 Políticas nacionales | 6 |
| 1.1.3 Políticas regionales | 8 |
| 1.2 Antecedentes | 9 |
| 1.3 Marco referencial | 14 |
| 1.3.1 Calentamiento global | 14 |
| 1.3.1.1 Cambio climático | 15 |
| 1.3.1.2 Variabilidad climática | 17 |
| 1.3.2 Clima | 18 |
| 1.3.2.1 Elementos climáticos | 19 |
| 1.3.2.2 Temperatura | 19 |
| 1.3.2.3 Precipitación | 20 |
| 1.3.2.4 Humedad relativa | 21 |
| 1.3.2.5 Radiación solar | 22 |
| 1.3.2.6 Viento | 22 |
| 1.3.2.7 Evaporación | 22 |
| 1.3.2.8 Factores climáticos | 23 |
| 1.3.2.9 Altitud | 23 |
| 1.3.2.10 Latitud | 23 |

| | | |
|----------|--|----|
| 1.3.2.11 | Relieve | 24 |
| 1.3.2.12 | Distancia de la tierra con el mar | 24 |
| 1.3.2.13 | Corrientes marinas | 24 |
| 1.3.3 | Tendencias mundiales y proyecciones del impacto de cambio climático en agricultura | 25 |
| 1.3.3.1 | Análisis de consistencia de datos hidrometeorológicos | 26 |
| 1.3.3.2 | Análisis visual gráfico | 27 |
| 1.3.3.3 | Análisis estadístico | 28 |
| 1.3.3.4 | Corrección de los datos | 29 |
| 1.3.3.5 | Definición de parámetros estadísticos. | 31 |
| 1.3.3.6 | Métodos de estimación de parámetros | 33 |
| 1.3.3.7 | Pruebas de bondad de ajuste. | 34 |
| 1.3.3.8 | Ajuste gráfico | 34 |
| 1.3.3.9 | Pruebas de Smirnov-Kolmogorov | 35 |
| 1.3.3.10 | Ventajas y limitaciones | 37 |
| 1.3.4 | Tratamiento de datos hidrometeorológicos | 34 |
| 1.3.5 | Análisis de tendencia | 34 |

CAPÍTULO II

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

| | | |
|-------|---------------------------------|----|
| 2.1 | El Problema de la Investigación | 37 |
| 2.1.1 | Interrogante general | 39 |
| 2.1.2 | Interrogantes específicas | 39 |
| 2.2 | Justificación | 39 |
| 2.3 | Objetivos | 41 |
| 2.3.1 | Objetivo general | 41 |
| 2.3.2 | Objetivos específicos | 42 |
| 2.4 | Hipótesis | 42 |
| 2.4.1 | Hipótesis general | 42 |
| 2.4.2 | Hipótesis específicas | 42 |

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

| | | |
|-------|-----------------------|----|
| 3.1 | Lugar de estudio | 43 |
| 3.1.1 | Límites hidrográficos | 44 |

| | | |
|---------|--|----|
| 3.1.2 | Fisiografía de la zona | 44 |
| 3.1.3 | Características geológicas | 45 |
| 3.1.4 | Características agroecológicas | 45 |
| 3.2 | Población | 46 |
| 3.3 | Muestra | 46 |
| 3.4 | Métodos de investigación | 46 |
| 3.5 | Descripción detallada de métodos por objetivos específicos | 46 |
| 3.5.1 | Información básica | 46 |
| 3.5.2 | Información cartográfica | 46 |
| 3.5.3 | Información de producción agrícola | 47 |
| 3.5.4 | Información meteorológica | 47 |
| 3.5.5 | Análisis de la información por objetivos planteados | 35 |
| 3.5.5.1 | Selección de las series históricas de precipitación y temperaturas | 35 |
| 3.5.5.2 | Análisis de consistencia de la información meteorológica | 35 |
| 3.5.5.3 | Consistencia en la media | 36 |
| 3.5.6 | Consistencia en la desviación estándar | 36 |
| 3.5.7 | Información meteorológica | 39 |
| 3.5.8 | Análisis del rendimiento de los cultivos frente al cambio climático en la cuenca del río Coata | 40 |

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

| | | |
|--------|--|----|
| 4.1 | Comportamiento de las temperaturas | 42 |
| 4.1.1 | Variación de las temperaturas medias en la cuenca | 52 |
| 4.1.2 | Variación de las temperaturas medias por estación. | 53 |
| 4.1.3 | Influencia del cambio climático sobre la variación de las temperaturas | 54 |
| 4.1.4 | Modelos matemáticos para pronosticar las temperaturas máximas y mínimas para los próximos dieciséis años | 57 |
| 4.1.5 | Modelo lineal | 57 |
| 4.1.6 | Modelo logarítmico | 57 |
| 4.1.7 | Modelo exponencial: | 58 |
| 4.1.8 | Modelo lineal | 58 |
| 4.1.9 | Modelo logarítmico | 59 |
| 4.1.10 | Modelo exponencial: | 59 |

| | | |
|-------|---|----|
| 4.2 | Comportamiento de las precipitaciones pluviales | 60 |
| 4.2.1 | Modelo lineal: | 65 |
| 4.2.2 | Modelo logarítmico | 65 |
| 4.2.3 | Modelo exponencial | 65 |
| 4.3 | Rendimiento de los cultivos frente a los comportamientos climáticos | 66 |
| 4.3.1 | Medidas de tendencia central y variabilidad de rendimiento de los cultivos | 66 |
| 4.3.2 | Rendimiento promedio del cultivo de haba frente a las variables climáticas | 67 |
| 4.3.3 | Rendimiento promedio del cultivo de la papa frente a las variables climáticas | 71 |
| 4.3.4 | Rendimiento promedio del cultivo de quinua frente a las variables climáticas. | 74 |
| | CONCLUSIONES | 78 |
| | RECOMENDACIONES | 80 |
| | BIBLIOGRAFÍA | 81 |
| | ANEXOS | 87 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | Pág. |
|--|-------------|
| 1. Valores critic de Δ_0 del estadístico smirnov – Kolmogorov Δ_1 para valores de n y niveles de significancia | 34 |
| 2. Correlación de Temperaturas Medias Anuales | 45 |
| 3. Resumen del Análisis de Tendencias de Temperaturas Máximas, Medias y Mínimas | 47 |
| 4. Las Temperaturas, paramétricos y no paramétricos | 49 |
| 5. Resumen del análisis de tendencias de las temperaturas mediante los test paramétricos y no paramétricos (1966-2014) | 50 |
| 6. Resumen del análisis de tendencias de las temperaturas, mediante los test paramétricos y no paramétricos, (1966- 2014) | 51 |
| 7. Medidas de tendencia central y variación del promedio de temperatura | 52 |
| 8. Variación en las temperaturas máximas por estación | 53 |
| 9. Variación en las temperaturas mínimas por estación | 53 |
| 10. Modelo de variables predictores de temperaturas | 54 |
| 11. Análisis de varianza (anova) del cambio climático y los variables del clima | 54 |
| 12. Análisis de Coeficientes a Independientes de temperaturas frente al cambio climático | 55 |
| 13. Correlaciones bivariadas del cambio climático respect a las temperaturas | 56 |
| 14. Coeficientes de las temperaturas máximas medias según el modelo lineal | 57 |
| 15. Coeficientes del promedio de temperaturas máximas según el modelo logarítmico | 57 |
| 16. Coeficiente del promedio de temperaturas máximas según el modelo exponencial | 58 |
| 17. Coeficiente del promedio de temperaturas mínimas según el modelo lineal | 58 |
| 18. Coeficientes del promedio de temperaturas mínimas según el modelo logarítmico | 59 |
| 19. Coeficientes del promedio de temperaturas mínimas según el modelo exponencial | 59 |
| 20. Coeficiente de correlación (r) para cada estación – Cuenca Coata, 2016 | 61 |
| | vii |

| | |
|--|----|
| 21. Análisis de saltos de las precipitaciones mensuales, 2016. | 61 |
| 22. Resumen del modelo de regresión lineal de precipitación, cuenca Coata, 1994-2016 | 63 |
| 23. Anovaa de las precipitaciones pluviales, cuenca Coata, 1994- 2014. | 63 |
| 24. Análisis de coeficientes independientes, según prueba t | 63 |
| 25. Correlaciones bivariadas del cambio climático con las variaciones de las precipitaciones pluviales en la cuenca del Río Coata, 1994-2014 | 64 |
| 26. Coeficientesa de precipitación total según el modelo lineal | 65 |
| 27. Coeficientes de precipitación total según el modelo logarítmico | 65 |
| 28. Coeficientes de precipitación total según el modelo exponencial | 65 |
| 29. Medidas de tendencia central y variación del rendimiento de los cultivos | 67 |
| 30. Resumen del modelo de relación entre cultivo y clima | 67 |
| 31. Anova ^a de la regresión residual total para el cultivo de haba | 68 |
| 32. Coeficientes no estandarizadas y tipificadas de las variables climáticas | 69 |
| 33. Correlaciones bivariadas del cultivo de haba con las variaciones climáticas en la cuenca del río Coata, 1994-2014 | 69 |
| 34. Resumen del modelo del rendimiento de papa y variables climáticos | 71 |
| 35. Anova de la regresión residual total para el cultivo de papa, Cuenca Coata, 1994-2014 | 71 |
| 36. Coeficientes no estandarizados y tipificados de variables climáticos | 72 |
| 37. Correlaciones bivariadas del cultivo de papa con las variaciones climáticas en la cuenca del Rio Coata, 1994-2014. | 73 |
| 38. Modelo de la relación del rendimiento de quinua y variables climáticos, Cuenca Coata, 1994-2014 | 74 |
| 39. Análisis de anovaa de regresión residual total para el cultivo de quinua | 75 |
| 40. Coeficientesa no estandarizadas y tipificadas de variables climáticas, Cuenca Coata, 1994-2014 | 75 |
| 41. Correlaciones bivariadas del cambio climático con las variaciones de las precipitaciones pluviales Cuenca Coata, 1994-2014 | 76 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | Pág. |
|---|-------------|
| 1. Ubicación geográfica de la cuenca del río Coata | 44 |
| 2. Ubicación de las estaciones meteorológicas en la cuenca Coata, 2016. | 34 |
| 3. Índices anuales de los vectores regionales de datos originales y completados de las temperaturas máximas | 43 |
| 4. Índices anuales de los vectores regionales de datos originales y completados de las temperaturas medias. | 44 |
| 5. Correlación de temperaturas medias anuales | 45 |
| 6. Datos originales y completados de las temperaturas mínimas | 46 |
| 7. Diagrama de doble masa de las precipitaciones anuales respecto al promedio. | 61 |
| 8. Cultivo de papa en la Cuenca de Coata-Puno | 88 |
| 9. Río Coata en la Cuenca Coata- Puno. | 88 |
| 10. Cultivo de haba en la Cuenca de Coata-Puno. | 89 |

ÍNDICE DE ANEXOS

| | Pág. |
|----------------------|-------------|
| 1. Panel fotográfico | 88 |

RESUMEN

El cambio climático viene alterando las condiciones del clima en la cuenca del río Coata, siendo las temperaturas extremas y las precipitaciones pluviales las variables más sensibles; por ende, se investiga el efecto de la temperatura y precipitación sobre la agricultura en la cuenca Coata, con el objetivo de evaluar el comportamiento de las variables climáticas durante el periodo 2015-2016 y su efecto en la actividad agrícola del altiplano. Para tal efecto se ha trabajado con las series históricas de temperaturas extremas y precipitaciones pluviales de 48 años de las estaciones meteorológicas seleccionadas en base a tres criterios: longitud de las series, estaciones con datos faltantes y por la consistencia. Estas series fueron sistematizadas, corregidas y completadas en base al análisis de homogeneidad; con las pruebas no paramétricas y paramétricas se ha determinado las tendencias con niveles de significancia de 0.01, 0.05 y 0.10, y análogamente la información de rendimientos de los cultivos. Los resultados muestran que las temperaturas máximas tienden a incrementar en 0.05°C anualmente, las temperaturas medias muestran un incremento anual de 0.028°C con evidencia leve y las mínimas no muestran cambios significativos; mientras que las precipitaciones pluviales tienden a disminuir, y estos generan impactos significativos en los cultivos. Por lo tanto no hay datos de rendimiento de los cultivos, se concluye que el cambio climático viene afectando a los parámetros de temperaturas y precipitaciones, y esto influye negativamente en el rendimiento de los cultivos del pan llevar.

Palabras Clave: Agricultura, cambio climático, cuenca Coata, precipitación, temperatura.

ABSTRACT

Climate change is altering the local weather conditions; being extreme temperatures and more rainfall sensitive parameters; therefore the impact of climate change on agriculture in the basin Coata, in order to evaluate the performance of climatic variables over the period 2015-2016 and its effect on highland agriculture is investigated. To this end we have worked with time series of extreme temperatures and rainfall 48 years of the nine weather stations selected based on three criteria: length of the series, stations with missing data and consistency. These series were systematized, corrected and completed on the basis of the analysis of homogeneity; with non-parametric and parametric tests it was determined trends with significance levels of 0.01, 0.05 and 0.10, and similarly information crop yields. The results show maximum temperatures tend to increase in 0.05°C annually, average temperatures show an annual increase of 0.028°C with mild and minimal evidence showing no significant changes; while rainfall tends to decrease, and they generate significant impacts on crops. Therefore, it is concluded that climate change is affecting the parameters of temperature and precipitation, and this adversely affects the crop yield bread out.

Keywords: Agriculture, climate change, Coata basin, precipitation, temperature.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, 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, et al.,2014), 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, resultado del cambio climático, además en latitudes subtropicales se prevé una disminución de las precipitaciones pluviales (IPCC, 2001b, 2007; Thomson, *et al.*, 2009).

Sin embargo, en ninguna de las cuencas se puede establecer tendencias claras en cuanto a la precipitación total anual, porque ningún valor estadísticamente es significativa que permita rechazar la hipótesis nula de no tendencia; en una cuenca la temperatura media anual mostró un ligero aumento, mientras que en la otra la temperatura manifestó descenso (Méndez, et al., 2010), tanto el estadístico Spearman Rho y Mann-Kendall muestran valores no significativos, debido a estos resultados no se puede establecer tendencias claras de disminución o incremento de las precipitaciones en la región.

Además, un leve aumento de la temperatura (indica mayor evaporación), serían condiciones que pueden crear una tendencia regresiva en los volúmenes de agua. En base a la desviación acumulada ha puesto en evidencia la diferenciación en dos periodos homogéneos. Dentro del análisis previo, cabe comentar el alto valor de la desviación estándar que corrobora la notable variabilidad de la precipitación y resta significación al valor medio mensual (Linsley,et al., 1986).

Así mismo, el clima mundial ha cambiado desde la época preindustrial, donde la temperatura se ha incrementado en un 0.3 a 0.6°C (Chakraborty, et al., 2000), mientras que el panel intergubernamental sobre el cambio climático predice con el actual escenario de emisiones, la temperatura media mundial podría aumentar entre 0.9 y 3.5°C para el año 2100, sin embargo, hay muchas incertidumbres que influyen en estas predicciones (González, et al., 2008) del cambio climático en la frecuencia y severidad de los fenómenos meteorológicos extremos como tormentas de granizo y las subsiguientes pérdidas económicas (Botzen, et al., 2010).

Más aun, (Chang,2002) determinó impacto potencial del cambio climático en el

rendimiento del sector agrícola mediante el modelo de precios endógenos bajo diferentes escenarios de cambio climático, mientras para (Crane, 2011) la mayoría de los estudios sobre cambio climático se ocupan de los impactos potenciales y su adaptación, ya que el rendimiento del cultivo es más sensible a la precipitación de temperatura (Ficklin, et al. , 2010), si la disponibilidad de agua se reduce en el futuro, los suelos de alta capacidad de retención del agua es mejor para reducir el impacto de la sequía, pero la urbanización da lugar al aumento de la temperatura (Kumar, et al., 2001).

Por su parte, para (Andrade, 2008), tres décadas de datos globales no son suficientes para entender a cabalidad variaciones más lentas en el clima de la Tierra, sin que esto signifique, que como humanidad no conozcamos lo suficiente para establecer ciertas conclusiones (IPCC, 2007), del análisis de los cambios medios de anomalías de temperatura y precipitación asociadas a desviaciones extremas, que producen un aumento de temperatura y precipitación, esto es producto del calentamiento global del planeta (Gbetibouo, et al., 2005).

Ahora es posible afirmar, con un nivel de confianza muy alto, que el calentamiento del sistema climático es inequívoco como resulta evidente de las observaciones de incremento en la temperatura media global del aire y del mar, el derretimiento generalizado del hielo y nieve, y el incremento global del nivel medio del mar (Qiu, et al., 2012).

No son las elevadas temperaturas las que indican el cambio climático y como son las precipitaciones pluviales, sequías prolongadas y bajas temperaturas, todas estas con mayor incidencia que antes, esto es lo que se denomina anomalías, es decir están fuera del promedio. (Vanesa, 2004), las precipitaciones pluviales son más intensas en zonas tropicales, principalmente porque el ciclo del agua ha variado, el nivel del mar ha aumentado a consecuencia del derretimiento de los glaciares, así como su salinidad ha disminuido y el aumento del vapor de agua se ha incrementado (IPCC, 2001b), y ésta es el gas invernadero más importante en la atmósfera (Tencer, 2010).

Además, el clima ha estado cambiando en las tres últimas décadas, y seguirá cambiando, independientemente de cualquier estrategia de mitigación. La agricultura es una actividad dependiente del clima y por lo tanto es muy sensible a los cambios climáticos y a la variabilidad del clima (Ramirez, et al., 2011), principalmente de

secano, es un sector económico importante y la más vulnerable al cambio climático (Roudier, et al., 2011). El cambio climático puede afectar a la agricultura en diversas formas, por ejemplo, tiende a reducir el rendimiento, debido a que se acelera el proceso de las cosechas, con lo cual se reduce la producción de granos (Cline, 2007).

Por otra parte, la agricultura de secano es uno de los sectores más vulnerables al cambio climático cada vez más, disminuyendo en algunas regiones la producción de cultivos (Alcama, et al., 2007), donde los ingresos de los productores están en mayor reducción y los impactos del cambio climático varía a lo largo del periodo de proyección de 100 años (Hahn *et al.* (2009).

No obstante, el tema se ha politizado por la incidencia que tiene en el resto de las esferas de la vida cotidiana. Principalmente, se refiere a la estrecha relación entre cambio climático y las cuestiones energéticas y modos de producción agrícola. Por otro lado, los cambios en los patrones actuales de la temperatura podrían ocasionar grandes efectos en el incremento de la temperatura ambiental y consecuentemente variar la precipitación pluvial, efecto del cambio climático.

Por consiguiente, se plantea responder a la interrogante: ¿Cuál es el efecto de la temperatura y precipitación en el rendimiento de los cultivos en la cuenca Coata?. Ya que los incrementos de temperatura y cambios en la precipitación bajo los escenarios del cambio climático son responsables de la variación en los rendimientos de los cultivos, debido a su variabilidad interanual. Y por ende es necesario evaluar el comportamiento de las temperaturas extremas y precipitaciones pluviales en el contexto del cambio climático.

Se elabora considerando los aspectos siguientes: el problema de investigación y su importancia, indicando el área, línea y tema de investigación de los programas de la Escuela de Posgrado; el propósito de investigación y los métodos. En un párrafo aparte, se debe exponer la estructura del informe de investigación.

CAPÍTULO I

REVISIÓN DE LITERATURA

1.1 Marco teórico

1.1.1 Políticas internacionales

La agencia especializada de la Organización de las Naciones Unidas, creada para profundizar en el conocimiento sobre el fenómeno del calentamiento global en 1988. Este organismo científico emite un informe periódico a partir de la información disponible y los avances de la investigación producidos en todo el mundo, en donde se formó la base científica para la negociación del Convenio Marco de la ONU sobre Cambio Climático, que fue concluido en la Cumbre de la Tierra en Río de Janeiro en 1992 (IPCC, 2001).

Así mismo, el segundo informe de evaluación fue publicado en 1995, y su conclusión clave fue: “El conjunto de las evidencias sugiere una influencia humana discernible sobre el clima global”. Éste fue decisivo en la negociación del Protocolo de Kyoto en diciembre de 1997, el mayor instrumento internacional para enfrentar el calentamiento global (IPCC, 2001b).

Para ilustrar mejor, se enumera las siete políticas internacionales que nuestro país ha ratificado en las tres convenciones de las Naciones Unidas sobre cambio climático: El Convenio de Viena para la protección de la capa de ozono; que tiene como objetivo convertirse en el primer instrumento destinado a generar acciones para la preservación del ozono, (ONU, 1990); El Protocolo de Montreal; relativo a las sustancias que agotan la capa de ozono, (ONU, 1989); Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático; el texto de la convención fue aprobado en la sede de las Naciones Unidas en Nueva York. Los firmantes tienen la meta de “estabilizar la concentración de gases

invernadero en la atmósfera a niveles que eviten interferencias antrópicas con el sistema climático” (ONU, 1995).

Asimismo, el Acuerdo internacional: Protocolo de Kyoto; donde uno de sus objetivos es contener las emisiones de los gases que aceleran el calentamiento global (GEI) en un porcentaje aproximado de 5% dentro del periodo que va desde 2008 al 2012, en comparación a las emisiones de 1990. En donde propone tres mecanismos de mitigación: Comercio internacional de emisiones (CIE o CE), implementación conjunta (IC) y mecanismos de desarrollo limpio (MDL) (Bienkinsonp, 2007).

El Grupo de los Ocho integran los países más ricos del mundo como Alemania, Italia, Francia, Reino Unido, Canadá, Estados Unidos, Japón y Rusia; con cinco países invitados como Brasil, China, India, Sudáfrica y México, quienes trataron justamente el calentamiento global, y durante esta reunión se busca diseñar estrategias para combatir el problema, mediante políticas de fenómeno al uso de tecnologías limpias para la generación de energía (ONU, 2005).

Además, en el Cumbre de Johannesburgo del 2002 acordaron la implementación nacional de LA AGENDA 21, instrumento de planificación estratégica, donde se propuso una estrategia global que prevenga y mitigue los daños y efectos, causados por el modelo actual de desarrollo, generador de los problemas ambientales y del calentamiento global de la tierra, pretendiendo establecer de forma detallada las acciones a emprender por parte de los gobiernos, organizaciones internacionales y a otros niveles, con el fin de integrar el medio ambiente y desarrollo en el horizonte del S. XXI. En él se abordan las cuestiones horizontales de más envergadura. El plazo concedido a todos los países del mundo para implementar el plan “Agenda 21” y el “Protocolo de Kioto” es hasta el año 2012 (ONU, 2002).

Así mismo, la Convención del Pacto de San José, es parte de la preocupación mundial por reducir los niveles de gases de efecto invernadero ante el fenómeno climático denominado "calentamiento global", ha sido enfocada por Costa Rica como una importante oportunidad de cooperación internacional entre los países industrializados que requieren el servicio de eliminación del carbono atmosférico y los países con capacidad de producir oxígeno a través de los

bosques.

1.1.2 Políticas nacionales

La Constitución Política del Estado Peruano del año 1993 en su capítulo II, del ambiente y los recursos naturales en sus Artículos 66, 67, 68 y 69 indican: Los recursos naturales, renovables y no renovables, son patrimonio de la Nación. El Estado es soberano en su aprovechamiento. Por ley orgánica se fijan las condiciones de su utilización y de su otorgamiento a particulares. La concesión otorga a su titular un derecho real, sujeto a dicha norma legal. Según el Artículo 68, el Estado determina la política nacional del ambiente. Promueve el uso sostenible de sus recursos naturales. El Estado está obligado a promover la conservación de la diversidad biológica y de las áreas naturales protegidas, (Cline, 2007)

Así mismo, en el código del medio ambiente y recursos naturales (1991); introduce una modificación significativa en el proceso de toma de decisiones públicas y privadas y propone políticas preventivas para la protección ambiental. Establece como ejes cuatro temas: Participación ciudadana; obligación de información sobre el estado del medio ambiente; estudios de impacto ambiental; derecho a la acción judicial sin demostrar interés directo, (Crane, 2011).

Más aún, la Ley orgánica de gobiernos regionales N° 27867, establece de manera explícita en su artículo 53, literal c), como función de los gobiernos regionales “formular, coordinar, conducir y supervisar la aplicación de las estrategias regionales respecto a la diversidad biológica y sobre cambio climático, dentro del marco de las estrategias nacionales respectivas” (Crane, 2011).

Por otra parte, la Ley del Sistema de Gestión Ambiental N° 28245, establece que el CONAM (MINAM) es la institución encargada del diseño y dirección participativa de estrategias nacionales para la implementación progresiva de las obligaciones derivadas del CMNUCC, coordinar la elaboración periódica de los informes nacionales sobre la materia y presidir la comunicación nacional de cambio climático, (Crane, 2011).

No sólo, la Ley General del Ambiente N° 28611, establece la implementación

de un sistema nacional de gestión ambiental en forma conjunta con las comisiones ambientales regionales y la autoridad ambiental nacional (MINAM), promueve “bonos de descontaminación u otros mecanismos alternativos a fin de que las industrias y proyectos puedan acceder a fondos creados al amparo del Protocolo de Kyoto”, sino también obliga al Estado a inspeccionar de forma regular a las personas o empresas “que generen impactos ambientales significativos”. Es pues, tarea del Estado vigilar el cumplimiento de las normas ambientales y sancionar a los infractores, (Crane, 2011).

A su vez, la Comisión nacional de cambio climático CONAM(MINAM), establecida por resolución suprema 359-RE, grupo técnico nacional creado en el marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental (SNGA), presidido por el CONAM (hoy en día por el MINAM). Tiene como objetivo el seguimiento de la CMNUCC. Está conformada por las siguientes instituciones: FONAM, IMARPE, PCM, CONCYTEC, Ministerio de Relaciones Exteriores, CONFIEP, INRENA, MEF, MTC, MEM, SENAMHI, Produce y representantes de ONG, (Crane, 2011).

Al mismo tiempo, MINAM (CONAM) como estrategia nacional de cambio climático, aprobada mediante decreto supremo N°086-2003- PCM, con los objetivos de reducir los impactos del cambio climático mediante evaluaciones integradas de vulnerabilidad y adaptación en zonas vulnerables o sectores donde se aplicarán los programas de adaptación, controlar las emisiones de contaminantes locales y GEI mediante programas de energías renovables y eficiencia energética de sectores productivos. Este decreto es de cumplimiento obligatorio y debe ser incluida en las políticas, planes y programas sectoriales y regionales (PCM, 2003).

Así mismo, el reglamento de la ley aprobado por decreto supremo N° 068-2007-PCM, considera la diversidad biológica como una estrategia de adaptación al cambio climático (PCM, 2001).

De igual modo, la Ley de eficiencia energética; aprobada por decreto supremo N° 053-2007-MEM, declara de interés nacional la promoción del uso eficiente de energía (UEE) para asegurar el suministro de energía, proteger al consumidor, fomentar la competitividad de la economía nacional y reducir el impacto

ambiental negativo del uso y consumo de energía. Se encuentra relacionado al uso de energías alternativas como estrategia de mitigación del cambio climático (MEM, 2007).

Es decir, el grupo de trabajo técnico de seguridad alimentaria y cambio climático (GTTSACC); constituido mediante resolución ministerial N° 0647-2008-AG, tiene como objetivos proponer la visión sectorial del cambio climático en los sistemas productivos agrarios del país y recomendar medidas que orienten procesos y acciones institucionales y la articulación intersectorial para la adaptación al cambio climático mediante la reducción de la vulnerabilidad del agro, con la finalidad de contribuir con la seguridad agroalimentaria del Perú (MINAG, 2008).

1.1.3 Políticas regionales

El grupo técnico regional de cambio climático y diversidad biológica (GTRCCDB). Creado mediante decreto regional N° 001-2008-GRC, su labor principal es formular propuestas y estrategias regionales a favor de la preservación de la biodiversidad regional y la lucha contra el cambio climático. El trabajo se realiza con la colaboración de quince instituciones (GRC, 2008).

Además, el Decreto regional N° 014-2005/GRP-PR, que aprueba, oficializa y promueve el uso público y privado de los estudios realizados de vulnerabilidad y adaptación de la cuenca del río Piura (CONAM- PROCLIM, 2005) y encarga la elaboración de propuestas específicas de adaptación e implementación de las mismas como parte del proceso de planificación concertada del desarrollo regional (GRP, 2005).

También, el grupo técnico regional de cambio climático de Cajamarca aprobado por ordenanza regional N° 001-2003-CR/RC. Quien tiene como objetivo elaborar una propuesta de estrategia regional de cambio climático a través de un proceso participativo regional (GRC, 2003). Así mismos, el Grupo técnico regional de cambio climático, vulnerabilidad y adaptación de Junín; creado mediante resolución ejecutiva regional N° 244-2005- GRJ/PR, cuya misión es elaborar, de modo participativo y concertado, propuestas de política y estrategia regional de cambio climático, así como el desarrollo de

medidas específicas de prevención y adaptación al cambio climático en la región (GRJ, 2005).

Además, los Gobiernos Regionales de Loreto, Tacna, Piura y Moquegua; tienen planes regionales agrarios; que contemplan como amenaza a los cambios climáticos perjudiciales, la deforestación y el calentamiento de la Tierra que generan cambios en el régimen climático de la Amazonía lo que ocasiona inundaciones, trayendo consecuencias negativas a los agricultores.

1.2 Antecedentes

El cambio climático es evidentemente uno de los temas actuales más relevantes de la agenda mundial, que atraviesa la economía, el comercio y las decisiones políticas, pues puede afectar el desarrollo de los países y tener grandes impactos en los países tropicales de América Latina y la región andina está entre los más afectados por las consecuencias del cambio climático, son las actividades agropecuarias (Belizario, 2014).

Así mismo, Vargas (2009), evidencia que el calentamiento del sistema climático es una realidad y de no adoptar una política ambiental internacional rígida frente a este tema, se habría más inminente avanzar hacia escenarios extremos de más de 5°C de aumentos de temperatura para fin de siglo; lo que significaría pérdidas de hasta 20% de PBI mundial. Los impactos del cambio climático se distribuyen de manera heterogénea entre los países, siendo los menos afectados aquellos países con mayor participación en la acumulación de GEI, como China y USA. Entre las regiones más afectadas se encuentran las que tienen sistemas productivos más sensibles al clima como África, el Sur y el Sur-Este de Asia y América Latina.

Por otra parte, para el caso peruano se estima, basándose en el marco teórico propuesto por Dell, *et al.* (2008), que un aumento de 2°C en la temperatura máxima y 20% de la variabilidad de las precipitaciones al 2050, generaría una pérdida del 6% respecto al PBI potencial en el año 2030, mientras que en el año 2050 estas pérdidas serían superiores al 20%; reduciéndose estas pérdidas a menos de la tercera parte en caso se adopten políticas globales que establecen las variables climáticas al 2030.

Las tendencias climáticas observadas de largo plazo en los andes peruanos la precipitación total anual y estacional presentan características regionales, y los factores

locales condicionan comportamientos diferenciados con o sin dependencia de las variaciones interanuales asociadas a El Niño o La Niña. Así las tendencias observadas muestran aumentos sistemáticos en la lluvia de la vertiente occidental de la sierra, así como reducciones en parte de la vertiente oriental de la sierra sur y central (Arana, et al., 2007).

Más aún, las evaluaciones de los extremos climáticos de precipitación establecen que la región de la sierra central como un área homogénea con una clara tendencia a una disminución de eventos extremos de lluvia, mientras que la sierra norte se detecta un incremento de días extremadamente lluviosos. Además, se observa una disminución de los días fríos principalmente en la sierra sur y aumento de los días cálidos en toda la sierra. Se detecta un patrón de calentamiento en las partes altas, más intenso en relación a la parte baja y media de la vertiente occidental central (cuenca del río Santa), con tendencias de hasta $+0.07$ °C por año (Ascough *et al.*, 2007).

También, la evaluación de escenarios de cambio climático para Sudamérica se hicieron con los modelos globales acoplados, usados en el Cuarto Informe Científico del Panel Internacional de Cambio Climático- IPCC-AR4 (Marengo, *et al.*, 2008), muestran que son capaces de reproducir las características básicas del ciclo estacional de la precipitación del presente, sin embargo hay algunas discrepancias en los modelos en reproducir cuantitativamente la exactitud estacional de la precipitación sobre las principales cuencas del continente.

Así mismo, sobre los Andes la baja resolución de la orografía parece afectar la intensidad y la ubicación de la precipitación. Las diferencias de los resultados de los modelos globales exigieron análisis más rigurosos de estos. Después de analizar y comparar 5 modelos globales del IPCC AR4 (CCCMA, GFDL, MIROC, GISS y HadCM3), encuentra que el modelo HadCM3 simula mejor el patrón de circulación de verano y primavera, próximo a lo observado, en relación a los otros modelos analizados (Sanabria, et al., 2010).

En el altiplano peruano es considerado una de las zonas más sensibles y perturbadas por la variabilidad climática con implicancias en las actividades del sector agropecuario, hidroeléctrico, minero, etc. En el futuro por el posible cambio climático, la vulnerabilidad y las condiciones de vida en general serán afectadas, especialmente la actividad agropecuaria que es el principal sustento de la población. En el futuro 2071-

2100, la precipitación proyectada en el escenario A2 mostró incrementos de precipitación de hasta 2mm/día principalmente en la época lluvioso (SON y DEF), y en el escenario B2 similares al patrón actual. Por otro lado, la temperatura proyectada, para los escenarios A2 y B2 muestran incrementos entre 2°C a 4°C, más aún al norte del lago hasta de 6°C. (Sanabria *et al.* 2010).

Además, para el punto de vista hidrológico “una disminución de la precipitación suele tener una amplificación en términos de aportación y de otro lado, el aumento de temperatura, significa una mayor transpiración biológica de las plantas para mantener su equilibrio interno, y una mayor evaporación directa del suelo, produciendo en aumento del consumo en los regadíos actuales y futuros del agua. Hay otro efecto importante, la variación de las pautas temporales de aportación al disminuir la precipitación y aumentar la temperatura, y el aumento de este coeficiente de variación sugiere una intensificación de los extremos, tanto la sequía como las inundaciones, y creciente por el aumento de la temperatura asociado al cambio climático, será progresivamente más problemático tanto por los menores recursos y mayores sequias como por los mayores conflictos con los regantes en esa época del año”. (Ayala, 2000).

De ahí que, el cambio climático afectaría los rendimientos y manejo de los cultivos agrícolas. Se estima que al año 2050 la temperatura media aumentaría 1.5°C y al 2100 entre 1.0 y 3.5°C. Además, el método Ricardiano explicó el 37.6% de la variación del valor del suelo. Los mayores valores estaban en localidades con temperaturas y precipitaciones moderadas. La temperatura presentó menor relación con el valor del suelo que la precipitación (González, et al., 2008).

Dicho lo de anterior, las declaraciones citadas del (García, 2009) a público, en el que explica que los mayores aumentos absolutos de precipitaciones extremas se darán en regiones que ya reciben gran cantidad de lluvia, pero los aumentos relativos de episodios extremos serán similares en todo el mundo, incluso en Europa. Las simulaciones predicen que las precipitaciones torrenciales crecerán un 6% por cada grado que se incremente la temperatura. Hay una probabilidad muy alta de que la temperatura de la superficie terrestre aumente 5,2°C en 2100, aunque el escenario que los expertos creen que se producirá con un 90% de posibilidades es que la temperatura se incremente de 3,5 a 7,4°C. I (Vanesa, 2004).

Las lluvias son un fenómeno complicado porque el comportamiento de la atmósfera

varía según las condiciones de presión, viento, humedad, etc. Si se produce un incremento de la temperatura, habrá una mayor frecuencia de eventos extremos, como lluvias torrenciales, precipitaciones fuera de temporada, de generación abrupta. Estos eventos son azarosos.

Dado que, la variabilidad climática puede agravar las enfermedades que resultan de la contaminación del agua. Mientras que las actividades secundarias involucraban procesos menos afectados por las perturbaciones medioambientales. Este análisis sugiere que las diferentes combinaciones de actividades de cultivos y ganadería, en tierras agrícolas, pueden necesitar una reglamentación con objeto de prevenir efectos no deseados en regiones que presentan una vulnerabilidad diferente ante el cambio climático, como por ejemplo las pampas argentinas (IPCC, 2001b).

Así mismo en el estudio titulado cuidar el clima concluye que “la temperatura media global en la superficie terrestre se ha incrementado en 0,6°C y en el Ártico 5°C a lo largo del siglo XX. La década de los 90 probablemente haya sido la más cálida del milenio, y 1998 fue el año más cálido desde 1861, año en el que las temperaturas comenzaron a medirse y registrarse de forma sistemática. La superficie cubierta por la nieve ha disminuido un 10% desde finales de los años 60 en latitudes medias y altas del hemisferio norte, de acuerdo con los datos suministrados por los satélites. Además, se presentó un retroceso generalizado de los glaciares de montaña en regiones no polares. (UNFCCC 2003)

Aunque, el Grupo Intergubernamental de expertos sobre cambio climático, indica que “América Latina presentará cambios en las dinámicas meteorológicas y ecosistémicas, que disminuirán la disponibilidad de agua en las cuencas, en los cuerpos de agua naturales (lagos, lagunas, estuarios, etc.), en aguas subterráneas, embalses, etc., pudiendo desencadenar significativas problemáticas sociales, económicas y culturales” (IPCC, 2001b).

Además, la mayor parte de los escenarios proyectan para el próximo siglo incrementos en la concentración de CO₂, elevación de las temperaturas y cambios en los registros de precipitación (incrementos en algunos sitios y reducciones en otros), variables que afectarían al sector agropecuario mediante cambios en la producción de cultivos anuales y forrajeras, y modificaciones de las características físico-químicas de los suelos (Traverso, et al., 2011).

Definitivamente, la agricultura es otro de los sectores productivos que se verá afectado por el cambio climático. Este sector, consume alrededor del 70%, de la extracción mundial de agua dulce en promedio, aunque en algunos países en desarrollo, este volumen puede aumentar hasta el 95%. En cuanto a los efectos del cambio climático, se prevé que aumentará el volumen de agua por hectárea en los cultivos, debido a: disminución de las precipitaciones, el aumento de la evapotranspiración por el incremento en la temperatura y posiblemente de la biomasa vegetal (FAO, 2002).

Más aun, la gran demanda de agua para riego que se avecina y la escasez de agua disponible en cuencas, canales, arroyos, embalses, provocará una caída en la producción mundial de alimentos que podría afectar la seguridad alimentaria de la población y el gran número de personas que dependen de la agricultura y actividades afines, para su subsistencia. Debido a la disminución de los regímenes de precipitaciones, la agricultura de secano será la más afectada, impactando el 87% de la superficie cultivada en ALC. Los efectos serán más significativos en superficies agrícolas de regiones tropicales áridas, semiáridas y secanos (Sebastián, 1978).

Así mismo, la Comisión Intergubernamental de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) sobre el cambio climático en su informe pone de manifiesto que la temperatura media de la Tierra había aumentado 0,6 grados en el siglo XX. Asimismo, este informe prevé que la temperatura media del planeta subirá entre 1,4 y 5,8°C entre 1990 y 2100. Este aumento provocará cambios en el nivel del mar (desde finales de la década de 1960 ha crecido entre 0,1 y 0,2 m y aumentará entre 0,09 y 0,88 m entre 1990 y 2100), disminución de la cubierta de hielo y nieve (desde finales de la década de 1960 ha disminuido un 10%) y aumento de la temperatura media de los océanos (UNO, 2002).

Más aún, la producción agrícola mundial declinaría si el cambio climático es suficientemente severo y si se obstaculiza la expansión de la tierra de cultivo, y que las pérdidas no serían homogéneas entre regiones, mientras que en las zonas de montañas y del ártico se incrementaría la cantidad de tierra cultivable, en las tropicales decrecería la productividad agrícola ante una reducción en la humedad del suelo (Darwin, et al., 1999).

Por otro lado, muestran que los mayores efectos recaerán en países en vías de desarrollo, con pérdidas de alrededor del 25%, mientras que para países industrializados la merma estimada es de sólo el 6%. Los daños son también mayores para países cercanos al

Ecuador y en latitudes bajas en donde las temperaturas tienden a ser más elevadas (Cline, 2007).

Es decir, el incremento de temperatura pronosticado varió entre 1.4 y 5.1°C para el ciclo de crecimiento de los cultivos de invierno, y entre 2.1 y 5.6°C para los cultivos de verano. En ambos casos las técnicas de downscaling (DS) fue el que pronosticó los menores incrementos y modelo de circulación general de la atmósfera (UKMO), más beneficiosas para los cultivos ya que prevén incrementos durante la mayor parte del año. Las precipitaciones mostraron importante variabilidad intraanual y entre modelos. Por el contrario, con GFDL se predicen reducciones de las lluvias a excepción de los meses de septiembre y octubre donde los incrementos beneficiarían a los cultivos de invierno. Por último, el DS prevé pequeñas reducciones de las precipitaciones a lo largo del año, especialmente en los meses de verano y otoño (Nuñez, et al., 1995).

1.3 Marco referencial

1.3.1 Calentamiento global

El calentamiento global ocurrió desde el año 700 DC hasta el año 1450 DC y precedió a la Pequeña Glaciación de la Edad Media (PGEM), la cual se extendió desde el año 1645 DC hasta el año 1715 DC.

El aumento en la temperatura de la atmósfera terrestre y de los océanos en las últimas décadas causado por la acumulación de contaminantes en la atmósfera. Estos forman una capa gruesa que atrapa el calor del sol y causa el calentamiento del planeta. Los principales agentes contaminantes son el vapor de agua (H₂O) y el dióxido de carbono (CO₂) emitido por la quema de combustibles fósiles”. Según (IPCC 1992, 2001a)

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. Asociados a estos potenciales cambios, habrá grandes alteraciones en los ecosistemas globales. Trabajos científicos sugieren que los rangos de especies arbóreas, podrán variar significativamente como resultado del cambio climático global. Además, el Consejo de Investigaciones Científicas define el cambio global como el conjunto de cambios ambientales afectados por la actividad humana,

con especial referencia a cambios en los procesos que determinan el funcionamiento del sistema Tierra. Se incluyen en este término aquellas actividades que, aunque ejercidas localmente, tienen efectos que trascienden el ámbito local o regional (CIC, 2006).

1.3.1.1 Cambio climático

Para el cambio en el estado del clima identificable (por ejemplo, mediante el análisis estadístico) a raíz de un cambio en el valor medio y/o en la variabilidad de sus propiedades, y que persiste durante un período prolongado, generalmente cifrado en decenios o en períodos más largos. Denota todo cambio del clima a lo largo del tiempo, tanto si es debido a la variabilidad natural como si es consecuencia de la actividad humana”. (IPCC, 2007).

Así mismo, el significado utilizado en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático (Blenkinsop, 2008), como “un cambio del clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera mundial y que viene a sumarse a la variabilidad climática natural observada en períodos de tiempo comparables”.

A su vez, ANA indica que el cambio climático resulta expresarse a través de la reducción acelerada de nuestros glaciares tropicales, así como de caudales y niveles de disponibilidad hídrica de ríos, lagos y lagunas; la elevación del nivel del mar y su temperatura, sin dejar de mencionar la mayor frecuencia de eventos extremos, cada vez más destructivos en la sierra y sur del país: inundaciones, huaycos, sequías, y heladas, cuyo impacto social se manifiesta en la ocupación de extensas áreas eriazas que requieren igualmente agua y servicios; e ir tomando conciencia de lo significativo que resulta valorarla no sólo económica, sino social y ambientalmente el agua, siendo este un recurso natural esencial para la vida humana, lo es para los pobres, caracterizados en el mundo por problemas de acceso. (ANA, 2010).

Además, desde el punto de vista de la climatología, el cambio climático

implicaría el paso de un estado climático a otro, y podría definirse, por la existencia de una modificación relevante en alguno de sus valores, como podría ser, por ejemplo, la media de un parámetro, su variabilidad o ambas simultáneamente, y que tendrían gran permanencia en el tiempo.

Igualmente, la variación en alguno de los componentes del sistema es lo suficientemente importante como para alterar su equilibrio, dando lugar a un equilibrio nuevo tras un período de transición entre ambos. Ello supone que la “anomalía” en un componente ha sido lo suficientemente importante como para rebasar el umbral de estabilidad del sistema; esta anomalía influye a su vez en otro componente del sistema, que su vez repercute en otro, y así sucesivamente, en consecuencia, el sistema no tiene ya una dinámica propia de un sistema estacionario, sino de un sistema que cambia, que experimenta una tendencia clara hacia otra situación, pudiendo llegar a alcanzar un nuevo equilibrio en un momento dado. (Chang, 2002),

Conviene subrayar que, 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 *et al.*, 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 (Wei, *et al.*, 2009).

De ahí que, la CMNUCC definió oficialmente al cambio climático como “un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a actividades humanas que altera la composición de la atmosfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables” (CMNUCC, 1999). Dicha definición implica no sólo la causa humana del problema, sino también que sus efectos se sienten en periodos

relativamente cortos de tiempo. En términos coloquiales, la definición señala que el clima es cada vez más variable, con todas las implicaciones que eso tiene para las actividades socioeconómicas y los ecosistemas: agricultura, manejo de recursos hídricos, evolución de ecosistemas, entre otros.

1.3.1.2 Variabilidad climática

La variabilidad climática o variabilidad del clima “a aquellas variaciones en las condiciones climáticas medias y otras estadísticas del clima como desviaciones típicas, fenómenos extremos, etc. en todas las escalas temporales y espaciales que se extienden más allá de la escala de un fenómeno meteorológico en particular. La variabilidad puede deberse a procesos naturales internos que ocurren dentro del sistema climático (variabilidad interna) o variaciones en el forzamiento externo natural o antropógeno (variabilidad externa)”. (IPCC, 2007)

Así mismos, la variabilidad climática (natural y cambio climático) se manifiesta en dos formas: como cambios en los valores promedio (tendencia) y como cambios en las varianzas y en los eventos extremos. En el largo plazo, los cambios de tendencia llevan a cambios globales con profundos impactos en la distribución de los “climas” en la Tierra, y en consecuencia en los ecosistemas y en todas las actividades socioeconómicas, pero en el corto plazo, los mayores impactos se hacen sentir a través de los eventos extremos: inundaciones, sequías, olas de calor o frío (Wei, 2009).

En consecuencia, queda establecido a aquellos cambios de gran magnitud (de 6 a 10°C más elevados o inferiores a los actuales) a gran escala temporal y espacial (con una duración de al menos miles de años y a nivel planetario o hemisférico), donde el cambio es la norma y no la excepción, mientras que entendemos por: Oscilación climática, aquellas variaciones que abarcan una escala temporal de varias décadas a siglos y milenios; variación climática, cuando las fluctuaciones son lo suficientemente largas como para influir en una media de 30 años; y fluctuación climática, las diferencias de corto período de duración (por

ejemplo estacional, interanual, decenal). La variabilidad climática puede presentar variaciones o fluctuaciones periódicas que son similares en su naturaleza, al ciclo diario o anual, pero en este caso es un ciclo que tiende a durar de 10 a 100 años de longitud. (Baudoin, 1991).

1.3.2 Clima

Los dos factores más importantes que determinan el clima de un área son su temperatura con sus variaciones estacionales, y cantidad y distribución de la precipitación durante cada año. A su vez, las variaciones de estos factores causadas en la forma inconstante en que la luz del sol calienta el planeta, el comportamiento del aire a diferentes temperaturas, la rotación de la tierra sobre su eje inclinado, las corrientes oceánicas, la composición química de la atmosfera y la troposfera”. (Miller, 1982).

La generalización estadística de su comportamiento atmosférico, considerado éste como estable o estacionario, aunque enormemente variable en el tiempo”. Este sistema con su funcionamiento, genera como resultado el mosaico climático mundial, que es estable, lo que a su vez se traduce en el hecho de que el sistema es un sistema en equilibrio, pero a su vez es variable “dado que el equilibrio del sistema no es un equilibrio estático sino dinámico”. El clima de un lugar determinado se puede definir como el valor medio de las variables meteorológicas durante un periodo determinado (30 años es el tiempo fijado por la Organización Meteorológica Mundial). (Cuadrat *et. al.* 2008),

El clima “es la respuesta del sistema tierra-atmosfera al estímulo exterior de la radiación solar incidente, es decir, el resultado del balance energético entre la radiación solar absorbida por el sistema y la manera como esta energía se distribuye entre continentes, océanos y atmosfera” (Putnam, 1988).

Además, es definido como el “patrón medio del tiempo a largo plazo” o como “el estado medio de los elementos meteorológicos de una localidad considerando un periodo largo de tiempo (Ashmore, 2003), en el caso del Perú está modelado por cinco factores principales: la cordillera de los Andes, la célula anticiclónica del Pacífico sur, la corriente oceánica ecuatorial o de El Niño, la corriente oceánica peruana y el anticiclón del Atlántico sur Mendiola, (Smith,

1997).

De todos ellos la primera es especialmente determinante. La presencia de tantos microclimas hace difícil hablar de un clima para todo el Perú. Se trata de muchos microclimas que se expresan en las zonas de vida de las 114 reconocidas a nivel mundial y 28 de los 34 climas reconocidos para el planeta Tierra (Cline, 2007).

Así mismo, en este escenario es de esperar que el cambio climático en el Perú se exprese de forma diferenciada. Hay zonas en las que las temperaturas y precipitaciones aumentan, otras en las que disminuyen, zonas beneficiadas y zonas perjudicadas en las que vemos la imposibilidad de hablar de un efecto central del cambio climático (Senamhi, 1999).

1.3.2.1 Elementos climáticos

El clima de un lugar determinado se define por cierto número de elementos o partes componentes, tales como temperatura, humedad del aire, lluvia, velocidad y dirección de viento, nubosidad y, duración de la exposición al sol y otros de menor importancia. Estos elementos son resultantes de la acción reciproca de diversos factores o causas determinantes, como, por ejemplo, la latitud, altitud, velocidad del viento, distancia al mar, relieve, naturaleza del suelo, vegetación, etc. Y la duración del día contribuye a determinar la temperatura, pero el tiempo de exposición a la luz solar es un elemento de gran importancia en la vida animal y vegetal. (Miller, 1989).

1.3.2.2 Temperatura

La temperatura ocurre como unas consecuencias directas de la insolación y de la radiación, su determinación es fundamental para el cálculo de la evaporación. La temperatura media diaria, normalmente se toma como el promedio de dos observaciones instantáneas: máxima y mínima. Esta información se usa para estudios de acondicionamiento térmico de ambientes, tomando como temperatura de referencia un valor de 18°C. (Guevarra, 2004),

La temperatura del aire disminuye con la distancia, de tal manera que en una atmósfera normal hay una disminución de 0.64°C cada 100 metros en la zona más próxima a la superficie de la tierra, llamada tronera; por encima de ella la temperatura disminuye más rápidamente. Este sería el **gradiente térmico normal**, pero bajo determinadas condiciones orográficas y climatológicas este gradiente puede alterarse de tal manera que a una determinada altura la temperatura del aire es superior a la de una altura inferior”, este es el elemento más importante que limita el tipo del clima de una región determinada (Smith, 1999).

1.3.2.3 Precipitación

Una variable hidrológica que manifiesta más claramente su carácter aleatorio, variando más drásticamente en el tiempo (variación temporal) y en el espacio (variación espacial). Es común que, en un determinado periodo de tiempo, mientras que en una zona ocurre una lluvia, en otra zona próxima no hay precipitación ninguna. La forma más común y la que mayor interés tienen en la ingeniería, es la lluvia que viene a ser la causa de los más importantes fenómenos hidrológicos, su cuantificación correcta es uno de los desafíos que el hidrólogo o el ingeniero enfrentan” (Mejía, 2001).

Así mismo, “es toda forma de agua cuyo origen está en las nubes, y cae a la superficie terrestre en forma de lluvia, granizo, garúa o nieve. En hidrología el tipo de precipitación de mayor importancia es la lluvia, por lo cual es la variable de entrada más significativa en el sistema hidrológico” (Vásquez, *et al.*, 1992).

Toda forma de humedad que originándose en las nubes llega hasta la superficie del suelo. De acuerdo a esta definición, la lluvia, las granizadas, las garúas, las nevadas constituyen, variantes de un mismo fenómeno, a saber, la precipitación.

La precipitación se clasifica en: convección, orográfica y ciclónica. **Convección**, se produce una abundante evaporación a partir de la superficie de agua en tiempo caluroso, formando grandes masas de vapor

de agua, que, por estar más calientes, se elevan sufriendo un enfriamiento de acuerdo a la adiabática seca o húmeda. En el curso de su ascenso, se enfrían según el gradiente adiabático seco ($1^{\circ}\text{C}/100\text{m}$), o saturado $0.5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ (Vásquez, *et al.*, 1992).

Además, las **orográficas** se produce cuando el vapor de agua se forma sobre la superficie de agua es empujada por el viento hacia las montañas, aquí las nubes siguen por las laderas de las montañas, y ascienden a grandes alturas, hasta encontrar condiciones para la condensación y la consiguiente precipitación; las **ciclónicas** se producen cuando hay encuentro de masas de aire, con diferentes temperaturas y humedad, las nubes más calientes son violentamente impulsadas a las partes más altas, donde pueden producirse la condensación y precipitación (Vei, 2009).

Puesto que, la interacción de los factores climáticos, topográficos, de suelo y vegetación hace que la precipitación y sus componentes experimenten una variación en el tiempo y en el espacio. Por regla general, la precipitación aumenta con la altura hasta un cierto límite denominado óptimo pluvial, a partir del cual, decrece. Este fenómeno se aprecia en la zona de los Andes (Chow, *et al.*, 1994).

1.3.2.4 Humedad relativa

En relación entre la cantidad de vapor de agua contenido realmente en el aire estudiado (humedad absoluta) y el que podría llegar a contener si estuviera saturado (humedad de saturación)” o sea es el vapor de agua que contiene el aire (Echarri, 2003).

La relación entre la presión de vapor real y su valor de saturación a una temperatura de aire dada. La temperatura a la cual el aire se satura para una humedad específica dada es la temperatura del punto de rocío. En todo caso el aire siempre contiene algo de humedad, de ello resulta que el concepto de aire seco es una abstracción, siempre aparece mezclado con una proporción variable de vapor de agua. La cantidad de vapor de agua presente en el aire húmedo puede expresarse según una serie

de índices higrométricos (Chow, *et al.*, 1994).

1.3.2.5 Radiación solar

La cantidad de energía solar que alcanza la tierra, por unidad de superficie, en el límite de la atmosfera es de aproximadamente a 2 cal/min./cm² (1.39 kW/m²) es denominada constante solar. De eso solo entre 0.1 y 0.2 kW/m² alcanzan la superficie del suelo; sin embargo, es suficiente para evaporar una lámina de agua entre 1.30 y 2.60 mm de altura (Mejía, 2001).

1.3.2.6 Viento

El viento es aire en movimiento. Además es un factor importante del ciclo hidrológico porque influye en el transporte del calor, de la humedad y en el proceso de la evaporación (Aliaga, 1983).

El viento se origina por las diferencias de presión y temperatura y se manifiesta como el movimiento de las masas de aire. Es un factor muy importante que se relaciona con otros parámetros hidrometeorológicos, tal como la evaporación, la precipitación y los fenómenos de difusión del vapor de agua, del calor y elementos contaminantes. Y las características fundamentales del viento son: dirección, velocidad o intensidad y perfil de distribución de velocidades (Guevarra, 2004).

Cuando hay evaporación, se incrementa la humedad, hasta que la masa de aire circundante se sature. El viento ayuda a remover el aire saturado, permitiendo que continúe el proceso de evaporación. La velocidad del viento incrementa la evaporación hasta un valor crítico, más allá del cual el viento deja de influir. Esta velocidad límite del viento es función del tamaño de la superficie del agua. Para grandes cuerpos de agua, se necesitan velocidades del viento muy altas para crear tasas máximas de evaporación (Smith, 1997).

1.3.2.7 Evaporación

El pasó del agua del estado líquido al estado gaseoso; sin embargo, hay

otra evaporación provocada por la actividad de las plantas, el cual recibe el nombre de transpiración. Dentro de los factores meteorológicos que afectan a la evaporación, se tiene a: radiación solar, temperatura del aire, presión del vapor, viento y presión atmosférica, y varía con la latitud, época del año, hora del día y condición de nubosidad (Yin, 2004).

1.3.2.8 Factores climáticos

Los principales factores modificadores del clima peruano son: La Cordillera de los Andes, Anticiclón del Pacífico Sur, Corriente Oceánica Peruana, Contracorriente Ecuatorial Oceánica o del Niño, así como el Ciclón Ecuatorial y el Anticiclón Polar Marítimo o del Atlántico Sur. Debido a las múltiples variaciones de la dinámica climática en el espacio geográfico, hasta el presente no existe una clasificación del clima que considere a todas sus condicionantes y que permita integrarlos cartográficamente. (ANA, 2012).

1.3.2.9 Altitud

Se relaciona con la altura de un lugar de la Tierra en relación con el nivel del mar. La temperatura del aire disminuye con la altitud, esto se explica al estudiar las propiedades físicas del aire: las moléculas de aire que se encuentran bajo presión, chocan unas contra otras, aumentando así la temperatura. Cuando el aire cálido asciende, la presión sobre él disminuye. El aire se expande, entonces se reduce el número de colisiones y el aire se enfría. Este proceso se denomina enfriamiento adiabático. El aire húmedo se enfría más lentamente. La tasa de cambio de la temperatura con la altitud se denomina gradiente adiabático (Akpalu, *et al.*, 2008).

1.3.2.10 Latitud

En las cercanías del Ecuador, los rayos del Sol son casi perpendiculares a la superficie terrestre y este sector recibe más energía por unidad de área que las regiones al norte y al sur, mientras que las regiones polares reciben el mínimo. Además, dado que la Tierra, que está inclinada sobre su eje, rota una vez cada 24 horas y completa una órbita alrededor del

Sol más o menos cada 365 días, el ángulo de incidencia de la radiación y, por tanto, la cantidad de energía que alcanza en diferentes partes de la superficie cambia hora tras hora y estación tras estación.

1.3.2.11 Relieve

Es un factor superficial que actúa, preferentemente, sobre las temperaturas y las precipitaciones. Un claro ejemplo es la acción de las cordilleras en las condiciones climáticas de un determinado sector. Cuando una masa de aire encuentra una montaña, asciende y se enfría, se satura y libera gran parte de su humedad sobre la ladera de barlovento. Cuando el aire frío y seco desciende de nuevo por la parte de sotavento, se calienta y absorbe humedad. Como resultado, la ladera de barlovento de una montaña suele presentar una vegetación densa y vigorosa, así como un mayor número de otras especies, que la ladera de sotavento, en la que aparecen algunas zonas áridas o secas, con condiciones incluso similares a los desiertos. Este fenómeno se denomina sombra de lluvia (Akpalu, *et al.*, 2008).

1.3.2.12 Distancia de la tierra con el mar

La acción modificadora del océano sobre las zonas climáticas también es un factor determinante para entender las condiciones de temperatura y precipitaciones de un sector. El océano mantiene por un tiempo la temperatura que recibe de los rayos solares, lo que permite que las zonas que están cerca de él tengan temperaturas menos variables. Por ejemplo, en la playa las temperaturas del día y la noche, en invierno y verano, no tienen grandes variaciones, como sí las tiene una ciudad en la misma latitud, pero alejada del mar (Akpalu, *et al.*, 2008).

1.3.2.13 Corrientes marinas

Corresponden a una de las tres formas de movimiento permanente que poseen las aguas de los océanos (las otras dos son las olas y las mareas) y que influye directamente en las condiciones climáticas. Por la acción del viento, grandes masas de aguas superficiales viajan desde el Ecuador, transmitiendo su calor hacia las latitudes más altas y modificando,

principalmente, las condiciones climáticas de las regiones costeras (Akpalu, *et al.*, 2008).

1.3.3 Tendencias mundiales y proyecciones del impacto de cambio climático en agricultura

El clima ha estado cambiando en las tres últimas décadas, y seguirá cambiando, independientemente de cualquier estrategia de mitigación. La agricultura es una actividad dependiente del clima y por lo tanto, es muy sensible a los cambios climáticos y a la variabilidad del clima, principalmente de secano, es un sector económico importante y la más vulnerable al cambio climático (Roudier, *et al.*, 2011).

El cambio climático puede afectar a la agricultura en diversas formas, por ejemplo tiende a reducir el rendimiento, debido a que se acelera el proceso de las cosechas, con lo cual se reduce la producción de granos (Cline, 2007).

La mayoría de los estudios que abordan la vulnerabilidad de la agricultura al cambio climático sólo se han centrado en los impactos potenciales, y estos estudios en el Perú comenzó reciente, centrándose en áreas tales como los ecosistemas naturales, la producción agrícola (cultivos), y los recursos hídricos. En los últimos años, muchos académicos han hecho varios trabajos en la clasificación de conocimiento de la vulnerabilidad y efectos. Se hizo una revisión exhaustiva de los avances de investigación de la vulnerabilidad al cambio climático en el extranjero, y en caso del altiplano peruano no se ha realizado (Fischer, *et al.* 2007).

El clima mundial ha cambiado desde la época preindustrial, donde la temperatura se ha incrementado en un 0.3 a 0.6°C, mientras que el panel intergubernamental sobre el cambio climático predice con el actual escenario de emisiones, la temperatura media mundial podría aumentar entre 0.9 y 3.5°C para el año 2100, hay, sin embargo, muchas incertidumbres que influyen en estas predicciones (Chakraborty, *et al.*, 2000).

El cambio climático en la frecuencia y severidad de los fenómenos meteorológicos extremos como tormentas de granizo y las subsiguientes pérdidas económicas (Botzen, *et al.*, 2010).

Determinación del impacto potencial del cambio climático en el rendimiento del sector agrícola mediante el modelo de precios endógenos bajo diferentes escenarios de cambio climático (Chang, 2002).

El aumento de temperatura ha provocado un cambio temporal en los patrones de crecimiento de las plantas y la evaporación del agua de riego, ya que las futuras necesidades de riego regional y mundial de agua se calcula como una función tanto de las tierras de regadío proyectada y el cambio climático (Fischer, *et al.*, 2007).

Las temperaturas se elevaran aún más en las latitudes tropicales y semi- tropicales y regiones con escasez de agua se enfrentan a condiciones más secas aun (Hahn, *et al.*, 2009).

Las variables que explican una proporción significativa de la varianza de rendimiento son el agua del cultivo (suma de la precipitación y riego) y la temperatura durante el periodo de crecimiento (Iglesias, *et al.* 2000),

En los periodos de disponibilidad de reducida cantidad de agua mitiga los impactos del cambio climático (Jiang, *et al.*, 2012).

Los componentes de temperatura de calentamiento global son mucho más importantes que la precipitación (Kabubo-Mariara, *et al.*, 2007).

Por la evaporación del suelo y transpiración de las plantas, por lo tanto, el periodo de crecimiento del cultivo puede acortarse en el futuro en la productividad (Kang, *et al.*, 2009).

El clima tiene evidentes efectos directos sobre la producción agrícola, más pronunciada en los países en desarrollo, donde la productividad agrícola sigue siendo baja, la pobreza, la vulnerabilidad y escasez de alimentos es alto (Lybbert, *et al.*, 2012).

1.3.3.1 Análisis de consistencia de datos hidrometeorológicos

El análisis de consistencia es una técnica que permite detectar, corregir y eliminar errores sistemáticos y aleatorios que se presentan en series hidrometeorológicas, la serie analizada debe ser homogénea, consistente y confiable, la no homogeneidad e inconsistencia en series hidrológicas,

son causadas por errores aleatorios y sistemáticos. Estas pueden producir errores significativos en todos los análisis futuros y se obtendría resultados altamente sesgados, para el cual es muy importante realizar este análisis. Presentando en la serie histórica saltos y/o tendencias (Aliaga, 1983).

Antes de realizar el modelamiento matemático de cualquier serie hidrológica es necesario efectuar el análisis de consistencia, con el fin de obtener una serie homogénea, consistente y confiable.

Los saltos “Jump” llamados también resbalamientos, son componentes determinísticas transitorias que se manifiestan en forma de cambios bruscos haciendo posibles que en la serie se presenten periodos de distinto comportamiento. El análisis de los saltos generalmente se realiza en la media, desviación estándar (Aliaga, 1983).

Las tendencias son componentes determinísticas y se define como un cambio sistemático y continuo sobre una serie de información hidrometeorológica. Para el análisis de consistencia, generalmente se realiza en la media y desviación estándar. Las tendencias pueden ser lineales y no lineales, ascendentes y descendentes en una serie hidrometeorológica (Senamhi, 1999).

La disponibilidad de información suficiente y apropiada, o la falta de ella, determinan el método más adecuado que se debe utilizar para el análisis de régimen y magnitudes de los caudales. Conviene tomar en cuenta las siguientes: Series estadísticas de aforos sistemáticamente hechas, que es la mejor fuente de información, cuanto más extensa y mayor corrección de las observaciones, mayor será la probabilidad de una ajustada aproximación. En el modelamiento, es necesario efectuar el análisis de consistencia respectivo, a fin de obtener una serie confiable, es decir, homogénea y consistente, (Senamhi, 1999).

1.3.3.2 Análisis visual gráfico

A fin de detectar posibles datos inconsistentes en la serie histórica, se

procede al análisis visual de histogramas de la información, que consiste en lo siguiente: En coordenadas cartesianas se plotea la información hidrológica histórica, ubicándose en las coordenadas, los valores de la serie y en las abscisas el tiempo (años, meses, días, etc.). De la apreciación visual de estos gráficos se deduce si la información es aceptable o dudosa, considerándose como información dudosa o de poco valor para el estudio, aquella que muestra en forma evidente valores constantes en períodos en los cuales físicamente no es posible, debido a la característica aleatoria de los datos (Wei, 2009).

El análisis de doble masa o doble acumulaciones, es una herramienta muy conocida y utilizada en la detección de inconsistencias en los datos hidrológicos múltiples, cuando se disponen de dos o más series de datos. Un quiebre de la recta de doble masa o un cambio de pendiente, puede o no ser significativo, ya que, si dicho cambio está dentro de los límites de confianza de la variación de la recta para un nivel de probabilidades dado, entonces el salto no es significativo, el mismo que se comprobará mediante un análisis estadístico (Aliaga, 1983).

1.3.3.3 Análisis estadístico

Después de obtener de los gráficos construidos para el análisis visual y de los de doble masa, los periodos de posible corrección, y los periodos de datos que se mantendrán con sus valores originales se procede al análisis estadístico de saltos, tanto en la media como en la desviación estándar (Aliaga, 1983).

Es decir, el análisis estadístico de consistencia de medias consiste en probar, mediante la prueba t (prueba de hipótesis), si los valores medios (\bar{x}_1, \bar{x}_2) de las submuestras, son estadísticamente iguales o diferentes con una probabilidad del 95% o con un 5% del nivel de significancia (Wei, 2009).

El valor crítico de t se obtiene de la tabla t de Student, con una probabilidad al 95%, o con un nivel de significación del 5%, es decir con $\alpha = 0.025$ y con grados de libertad 2 .

$v = n_1 + n_2 - 2$. Posteriormente se comparan el t_c con el t_t :

- Si $|t_c| \leq (95\%) \rightarrow \mu_1 = \mu_2$ (Son iguales estadísticamente).

En este caso, siendo las medias $\mu_1 = \mu_2$ estadísticamente, no se debe realizar procesos de corrección.

- Si $|t_c| > (95\%) \rightarrow \mu_1 \neq \mu_2$ (Son diferentes estadísticamente). En este caso, siendo las medias $\mu_1 \neq \mu_2$ estadísticamente, se debe corregir la información.

El análisis estadístico de consistencia de la desviación estándar consiste en probar, mediante la prueba F, si los valores de las desviaciones estándar de las submuestras son estadísticamente iguales o diferentes, con un 95% de probabilidad o con un 5% de nivel de significación (Villon, 2002).

Se comparan que: Si $|t_c| \leq (95\%) \rightarrow \mu_1 = \mu_2$, esto indica que estadísticamente las informaciones de la serie histórica son iguales, y no requiere corrección.

- Si $|t_c| > (95\%) \rightarrow \mu_1 \neq \mu_2$, en este caso estadísticamente son diferentes, requiere corrección de datos históricos.

1.3.3.4 Corrección de los datos

En los casos en que los parámetros media y desviación estándar de las submuestras de las series de tiempo, resultasen estadísticamente iguales, la información original no se corrige, por ser consistente con 95% de probabilidad, aun cuando en la doble masa se observe pequeños quiebres. En caso contrario, se corrigen los valores (Aliaga, 1998).

La tendencia en la media m_t , puede ser expresada en forma general por la ecuación polinomial $m_t = m_0 + m_1 t + m_2 t^2 + m_3 t^3 + \dots$, donde t es el tiempo en años, m_0 es la tendencia en la media y m_1, m_2, m_3, \dots son los coeficientes polinomiales de regresión, estas pueden ser estimadas por el método de mínimos cuadrados, o por el método de regresión lineal múltiple. Para averiguar si la tendencia es significativa, se analiza el coeficiente de

regresión **Bm** o también el coeficiente de correlación **R** según el estadístico **T**, este valor crítico de t , se obtiene de la tabla de t de Student, con 95% de probabilidad o con un nivel de significación del 5%. Si $|t_c| \leq (95\%) \rightarrow R$ y la tendencia no son significativos y no hay que corregir, y si $|t_c| > (95\%) \rightarrow R$ y la tendencia son significativos, en este caso hay que corregir la información de tendencia en la media, eliminando mediante $t = (t) - m$, donde (t) es la serie corregida de saltos y t es la serie sin tendencia en la media Según (Aliaga, 1983).

La tendencia en la desviación estándar, generalmente se presenta en los datos semanales o mensuales, no así en datos anuales”. Esto puede ser expresado por la ecuación polinomial $x = x + xt + xt^2 + xt^3 + \dots$, t es el tiempo en años, x es la tendencia en la desviación estándar, y , son coeficientes polinomiales de regresión, que deben ser estimados con los datos. Luego se realiza la evaluación siguiendo el mismo proceso descrito para m , si en la prueba R resulta significativo, la tendencia en la desviación estándar es significativa, por lo que se debe eliminar de la serie, aplicando la siguiente relación t es la serie sin tendencia en la media ni en la desviación estándar, entonces la serie es homogénea y consistente al 95% de probabilidad. Completación de datos meteorológicos.

La extensión de información es el proceso de transferencia de información desde una estación con “largo” registro histórico a otra con “corto” registro. Mientras que la completación, es el proceso por el cual se llenan “huecos” que existen en un registro de datos, es un caso particular de la extensión, por cuanto modifican sustancialmente a los estimadores de los parámetros poblacionales (Villón, 2002),

A menudo es necesario estimar alguno de estos valores faltantes para lo cual existen muchas formas de suplir estas deficiencias y el grado de aceptación de uno de estos métodos va a depender de la cantidad de observaciones faltantes en el registro de datos. La completación y extensión de la información meteorológica faltante, se efectúa para tener en lo posible series completas, más confiable y de un periodo uniforme

(Aliaga, 1983).

Posiblemente el modelo más común usado en hidrología está basado en la asunción lineal entre dos variables. El objetivo de este análisis es establecer una relación lineal entre la variable independiente “X” y la variable dependiente “Y”: $Y = \alpha + \beta X$. En este modelo α y β representan valores reales; sin embargo, será necesario preguntarnos, que valores de α y β son los más representativos para el modelo. Un criterio intuitivo nos conduce a que α y β deben tener valores que minimice la desviación entre los valores observados Y e los valores predichos \hat{Y} , siendo los estimadores de α y β , a y b respectivamente, en lo posible error tienda a cero ($\sum e \cong 0$). (Aliaga, 1983).

1.3.3.5 Definición de parámetros estadísticos.

La estadística es extraer la información esencial de un conjunto de datos, reduciendo un conjunto grande de números a un conjunto pequeño de números. Las estadísticas son números calculados de una muestra los cuales resumen sus características más importantes. Los parámetros estadísticos son características de una población, tales como: la media y la desviación estándar.

Un parámetro estadístico es el valor esperado E de alguna función de una variable aleatoria. Un parámetro simple es la media, el valor esperado de la variable aleatoria.

Para una variable aleatoria X , la media es $E(X)$, y se calcula como el producto de x y la correspondiente densidad de probabilidad $f(x)$, integrado sobre el rango factible de la variable aleatoria.

$$E(X) = \mu = \int_{-\infty}^{\infty} xf(x)dx \quad (2.1)$$

$E(X)$ es el primer momento alrededor del origen de la variable aleatoria, una medida del punto medio o tendencia central de la distribución.

La estimación por la muestra de la media es el promedio \bar{x} de la información de la muestra:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (2.2)$$

La variabilidad de la información se mide por medio de la varianza σ^2 , la cual es el segundo momento alrededor de la media.

$$E[(x - \mu)^2] = \sigma^2 = \int_{-\infty}^{\infty} (x - \mu)^2 f(x) dx \quad (2.3)$$

El valor estimado de la muestra de la varianza está dado por.

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (2.4)$$

En el cual el divisor es $(n-1)$ en lugar de n para asegurar que la estadística de la muestra no sea sesgada, es decir, que no tenga una tendencia, en promedio, a ser el valor mayor o menor que el valor verdadero (Chow, 1994).

Los parámetros de una distribución teórica, son variables que para cada conjunto de datos tienen un valor definido. Una vez que los parámetros quedan definidos, también queda definida la distribución teórica. Por lo general, una función densidad o una función de distribución acumulada, pueden escribirse como una función de la variable aleatoria y en general como una función de sus parámetros. Dada una función de distribución con parámetros α, β, γ , se llaman estimadores a los valores a, b, c, \dots , obtenidos a partir de los estadísticos de la muestra, que se supone pertenece a la población que se pretende caracterizar (Aliaga, 1983).

1.3.3.6 Métodos de estimación de parámetros

Para estimar los parámetros estadísticos tenemos los siguientes: Método gráfico, método de mínimos cuadrados, método de momentos y método de máxima verosimilitud.

Se describen solo de máxima verosimilitud, que tiene más aplicación en función de distribución de probabilidades.

El método de máxima verosimilitud fue desarrollado por R. A. Fisher (1922). El razonó que el mejor valor de un parámetro de una distribución de probabilidad debería ser el valor que maximiza la verosimilitud o probabilidad conjunta de ocurrencia de la muestra observada.

Dada una función de distribución $f = (x; \alpha, \beta, \gamma, \dots)$ (2.5)

Donde: α, β, γ Son los parámetros que deben ser estimados.

Se define la función verosimilitud de la muestra, como la productoria: L

$$L = \prod_{i=1}^n f(x; \alpha, \beta, \gamma, \dots)$$

$$L = f_1(x; \alpha, \beta, \gamma, \dots) * f_2(x; \alpha, \beta, \gamma, \dots) * \dots * f_N(x; \alpha, \beta, \gamma, \dots) \quad (2.6)$$

Siendo N tamaño de la muestra.

1.3.3.7 Pruebas de bondad de ajuste.

Para una distribución de probabilidad es una función que representa la probabilidad de ocurrencia de una variable aleatoria. Mediante el ajuste de una distribución de un conjunto de datos hidrológicos, una cantidad de información probabilística en la muestra puede resumirse en forma compacta es la función y en sus parámetros asociados. El ajuste de distribuciones puede llevarse a cabo por varios métodos (Chow, 1994).

Las pruebas de bondad de ajuste, consisten en comprobar gráfica y estadísticamente, si la frecuencia empírica de la serie analizada, se ajusta a una determinada función de probabilidades teórica seleccionada a priori, con los parámetros estimados con base a los valores muestrales. Las pruebas estadísticas, tienen por objeto medir la certidumbre que se obtiene al hacer una hipótesis estadística sobre una población, es decir, calificar el hecho de suponer que una variable aleatoria, se distribuya según una cierta función de probabilidades (Aliaga, 1983).

Las pruebas de bondad de ajuste más utilizadas son: Ajuste gráfico y ajuste estadístico (Chi-cuadrado y Smirnov-Kolmogorov).

1.3.3.8 Ajuste gráfico

El ajuste gráfico se puede realizar de las siguientes formas:

- Comparar gráficamente el histograma o función densidad empírica de la serie de datos, con la función densidad teórica y decidir visualmente, si hay o no ajuste de acuerdo a la similitud o diferencia de ambos.
- Comparar gráficamente la función acumulada de la serie de datos, con la función acumulada teórica seleccionada, dibujada en papel milimétrico y decidir visualmente si hay o no ajuste.
- Se puede también gráficamente evaluar la función acumulada de

la serie de datos, con la función acumulada teórica, ploteada en un papel probabilístico adecuado, donde la distribución teórica seleccionada, se pueda representar como una línea recta (por lo general, sólo se pueden representar por una línea recta las distribuciones de 2 parámetros). Así se tienen disponibles los papeles probabilísticos normal, log-normal, Gumbel, etc. El procedimiento consiste en plotear los valores de la variable hidrológica (caudal, precipitación, temperatura, etc.), versus la probabilidad empírica en el papel de probabilidad correspondiente. Si los puntos plateados se agrupan alrededor de una línea recta, que es la representación de la distribución teórica, se puede afirmar con cierta certeza que estos datos se ajustan a la distribución deseada.

1.3.3.9 Pruebas de Smirnov-Kolmogorov

La prueba de ajuste de Smirnov-Kolmogorov, consiste en comparar las diferencias existentes, entre la probabilidad empírica de los datos de la muestra y la probabilidad teórica, tomando el valor máximo del valor absoluto, de la diferencia entre el valor observado y el valor de la recta teórica del modelo, es decir:

$$\Delta = \max F(x) - P(x) \quad (2.7)$$

Donde:

Δ : Estadístico de Smirnov-Kolmogorov, cuyo valor es igual a la diferencia máxima existente entre la probabilidad ajustada y la probabilidad empírica.

$F(x)$: Probabilidad de la distribución empírica.

$P(x)$: Probabilidad experimental o empírica de los datos, denominada también frecuencia acumulada. El estadístico Δ tiene su función de distribución de probabilidades. Si Δ_0 es un valor crítico para un nivel de significancia, es:

$$P[\max F(x) - P(x) \geq \Delta_0] = \alpha \quad (2.8)$$

$$P(\Delta < \Delta) = 1 - \alpha \tag{2.9}$$

También

El procedimiento para efectuar el ajuste, mediante el estadístico de Smirnov-Kolmogorov, es el siguiente:

1º Calcular la probabilidad empírica o experimental $P(x)$ de los datos, para esto se usa la fórmula de Weibull.

$$P(x) = \frac{M}{N + 1} \tag{2.10}$$

Donde:

$P(x)$: Probabilidad empírica o experimental. M : Numero de orden.

N : Numero de datos.

2º Calcular la probabilidad teórica $F(x)$:

a). Para el caso de utilizar el procedimiento de los modelos teóricos, usar la ecuación de la función acumulada $F(x)$, o tablas elaboradas para tal fin.

b). Si se quiere aplicar el procedimiento gráfico, se utiliza un papel probabilístico especial donde $F(x)$, puede representarse como una línea recta, por lo cual, se puede trazar con solo 2 puntos, pero si se quiere chequear que es una recta, se pueden plotear 3 puntos, por ejemplo, para el caso de una distribución normal, los puntos:

| | |
|---------|----------------|
| Valor | Probabilidad % |
| X | 50 |
| $X + S$ | $X - S$ |
| | 80.13 |
| | 15.87 |

Representados en un papel de probabilidad normal, formando una recta.

3º Calcular las diferencias $P(x) - F(x)$, para todos los valores de x .

4º Seleccionar la máxima diferencia: $\Delta = \max |F(x) - P(x)|$

5° Calcular el valor crítico del estadístico Δ , es decir Δ_0 , para un $\alpha = 0.05$ y N igual al número de datos. Los valores de Δ_0 , se muestran en el Cuadro 2.1

6° Comparar el valor del estadístico Δ , con el valor crítico Δ_0 del cuadro 2.1, con los siguientes criterios de decisión deducidos de la ecuación;

$$P\left[\max_{x_0} F(x) - P(x) \geq \Delta\right] = P(\Delta \geq \Delta) = \alpha$$

Si $\Delta < \Delta_0 \Rightarrow$ El ajuste es bueno, al nivel de significación seleccionado.

$\Delta \geq \Delta_0 \Rightarrow$ El ajuste no es bueno, al nivel de Significación seleccionada, siendo necesario probar con otra distribución.

1.3.3.10 Ventajas y limitaciones

- a) No requiere un conocimiento a priori de la función de distribución teórica.
- b) Es aplicable a distribuciones de datos no agrupados, es decir, no se requiere hacer intervalos de clase.
- c) Es aplicable a cualquier distribución teórica.
- d) Se aplica en la función de distribución acumulada y no en la función de densidad.
- e) Comparándola con la Chi-cuadrado, no se requiere que la frecuencia absoluta de cada clase, sea igual o mayor que 5.
- f) No es una prueba exacta, sino una prueba aproximada.

Tabla 1
Valores critic de $\Delta 0$ del estadístico smirnov – Kolmogorov ΔI para valores de n y niveles de significancia

| Tamaño muestral N | Nivel de significancia α | | | | |
|-------------------|---------------------------------|------------|------------|------------|------------|
| | 0.20 | 0.15 | 0.10 | 0.05 | 0.01 |
| 1 | 0.900 | 0.925 | 0.950 | 0.975 | 0.996 |
| 2 | 0.684 | 0.726 | 0.776 | 0.842 | 0.929 |
| 3 | 0.565 | 0.597 | 0.642 | 0.708 | 0.828 |
| 4 | 0.494 | 0.525 | 0.564 | 0.624 | 0.733 |
| 5 | 0.446 | 0.474 | 0.510 | 0.565 | 0.669 |
| 6 | 0.410 | 0.436 | 0.470 | 0.521 | 0.618 |
| 7 | 0.381 | 0.405 | 0.438 | 0.486 | 0.577 |
| 8 | 0.358 | 0.381 | 0.411 | 0.457 | 0.543 |
| 9 | 0.339 | 0.360 | 0.388 | 0.432 | 0.514 |
| 10 | 0.322 | 0.342 | 0.368 | 0.410 | 0.490 |
| 11 | 0.307 | 0.326 | 0.352 | 0.391 | 0.468 |
| 12 | 0.295 | 0.313 | 0.338 | 0.375 | 0.450 |
| 13 | 0.284 | 0.302 | 0.325 | 0.361 | 0.433 |
| 14 | 0.274 | 0.292 | 0.314 | 0.349 | 0.418 |
| 15 | 0.266 | 0.283 | 0.304 | 0.338 | 0.404 |
| 16 | 0.258 | 0.274 | 0.295 | 0.328 | 0.392 |
| 17 | 0.250 | 0.266 | 0.286 | 0.318 | 0.381 |
| 18 | 0.244 | 0.259 | 0.278 | 0.309 | 0.371 |
| 19 | 0.237 | 0.252 | 0.272 | 0.301 | 0.363 |
| 20 | 0.231 | 0.246 | 0.264 | 0.294 | 0.356 |
| 25 | 0.21 | 0.22 | 0.24 | 0.27 | 0.32 |
| 30 | 0.19 | 0.20 | 0.22 | 0.24 | 0.29 |
| 35 | 0.18 | 0.19 | 0.21 | 0.23 | 0.27 |
| N>35 | 1.07 | 1.14 | 1.22 | 1.36 | 1.63 |
| | \sqrt{N} | \sqrt{N} | \sqrt{N} | \sqrt{N} | \sqrt{N} |

1.3.4 Tratamiento de datos hidrometeorológicos

Un hidrólogo generalmente tendrá disponible un registro de datos hidrometeorológicos (precipitación, temperatura, caudales, etc.), a través del conocimiento escoge un modelo probabilístico a usar, que represente en forma satisfactoria el comportamiento de la variable.

Las distribuciones teóricas comunes utilizados en hidrológica son: Distribución normal; distribución Log-normal de 2 y 3 parámetros; distribución Gamma de 2 y 3 parámetros; distribución Log-pearson tipo III; distribución Gumbel y distribución Log Gumbel.

1.3.5 Análisis de tendencia

Análisis de tendencia 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 (Aliaga, 1983).

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

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 autocorrelación, 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.

Las gráficas de series en el tiempo son una herramienta visual de gran utilidad para análisis de tendencia o cambio. Un punto de partida de una prueba estadística es definir una hipótesis nula (H_0) y una hipótesis alternativa (H_1) y compararlos mediante un valor numérico a partir de la serie de datos que está probando. 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 estadística 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 y cambios, se utiliza el valor crítico de la prueba estadística α se utiliza (dos periodos), para detectar un aumento \uparrow (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 tipo II cuando H_0 no se acepta, cuando H_1 es verdadero. Una prueba con escaso margen de error de tipo II se dice que es de gran alcance.

En esta sección se debe incluir el marco teórico del problema, escrito en forma de oraciones simples o compuestas que faciliten la construcción de párrafos cortos referidos a un tema específico. Se debe considerar un mínimo de 20 estudios relacionados con el problema (Chow 1994).

CAPÍTULO II

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 El Problema de la Investigación

El cambio climático se ha convertido en un grave problema ambiental que afecta a la supervivencia y el desarrollo futuro de la humanidad, y ha atraído una amplia atención de las organizaciones no gubernamentales y la comunidad académica en el mundo. La agricultura es uno de los sectores más sensibles frente a este problema ya que depende de factores climáticos como temperatura y precipitación, y cualquier grado traerá impacto potencial o significativo para la producción agrícola y los procesos relacionados, afectando también a la agricultura del altiplano peruano de manera significativa, y que inevitablemente tendrá un impacto enorme en la producción agrícola en el futuro. A pesar de que el impacto variará en tiempo y espacio, como un todo será principalmente adverso (ECCNARCC, 2007).

En cuanto la evaluación del impacto de cambio climático es aún un campo relativamente nuevo de estudio en la actualidad. A pesar de que IPCC desarrolló un programa de investigación dedicado específicamente para la evaluación de la investigación sobre el cambio climático (Antle, 1996; Xu & Ma, 2009). Ya que a nivel del globo terráqueo la temperatura de la Tierra se ha incrementado en 0,25°C durante los últimos 40 años (Mendelsohn, 2007) sin embargo estos cinco últimos años el incremento es cada vez mayor, y consecuentemente el hielo de los polos y cordilleras están derritiéndose dejando la tierra y rocas oscuras al descubierto, que permiten una mayor absorción del calor solar, asimismo la temperatura del agua cambia con más lentitud que en la tierra, debido a su mayor capacidad para retener calor.

Más aún, el cambio climático hace más vulnerable los aspectos tecnológicos, socioeconómicos y la seguridad alimentaria. En el futuro las condiciones de vida en general serían afectadas, principalmente la actividad agropecuaria que es el principal sustento de la población rural del altiplano peruano; trayendo como consecuencia la crisis de la seguridad alimentaria, hambre y miseria, rompiendo la relación de equilibrio ecológico y socioeconómico.

Por otra parte, el altiplano peruano es fuertemente afectado por el cambio climático, y se enfrenta a incremento de la temperatura promedio al igual que la frecuencia de las olas de calor que aumentan la probabilidad de sequías; así como el aumento en la evaporación durante el verano podría elevar las condiciones de sequía; las temperaturas más cálidas aumentan la evaporación del agua y con ello la producción de lluvias, afectando la economía en el sector agropecuario, por lo que se considera necesario conocer y precisar cómo afecta el cambio climático a la agricultura de la cuenca Coata.

Asimismo, el recurso hídrico viene a ser uno de los más afectados por efecto del cambio climático al ser un recurso vital para la humanidad en sus diferentes actividades sobre todo en la actividad agropecuaria, ya que sin agua, la agricultura no será posible, por más tecnologías modernas de producción existente.

Es por esto que, en la actualidad el efecto del cambio climático impacta directamente sobre las poblaciones rurales con las alteraciones del clima, que de por sí ya es hostil por su posición geográfica situada por encima de los 3,800 m.s.n.m., con rendimientos de producción cada vez más bajos, asociados con la exigencia de incorporación de nutrientes al suelo (la tierra no produce como antes), los periodos de rotación de cultivos se han acortado, monocultivos, la incidencia y aparición de nuevas plagas y enfermedades, la excesiva micro parcelación de las tierras (menos de ½ hectárea por persona), reducción de las áreas de pastoreo, sobre pastoreo, excesiva carga de ganado por superficie, desertificación de las áreas naturales, tierras erosionadas por las lluvias.

De ahí que, el poblador rural sea cada vez el más afectado, provocando migración a las ciudades Juliaca, Puno, Arequipa y Lima, donde se instalan en las zonas periféricas carentes de todo tipo de servicios básicos y por consiguiente con muertes de niños con IRAS y EDAS, cada vez con estadísticas del Ministerio de Salud que

van en aumento, o la migración a los centros mineros donde el trabajo *es inhumano* y la explotación del hombre por el hombre aun es cotidiano y de igual forma carente de seguro médico y servicios básicos, a pesar de generar riqueza se ve reflejado en su bienestar; para cumplir con los objetivos del presente trabajo se ha planteado, las siguientes interrogantes:

2.1.1 Interrogante general

¿Cuál es el efecto de la temperatura y precipitación en la agricultura de la cuenca Coata, Puno- Perú?

2.1.2 Interrogantes específicas

- ¿Cuál es el impacto del cambio climático en el comportamiento de las temperaturas en la cuenca Coata?
- ¿Cuál es el impacto del cambio climático en la conducta de las precipitaciones pluviales en la cuenca Coata?
- ¿Cuál es la relación entre las variables climáticas y el rendimiento de los cultivos seleccionados en el periodo de veinte años en la cuenca Coata?

2.2 Justificación

Puno, es considerado como el tercer departamento que depende principalmente de la actividad agropecuaria, asimismo es uno de los tres principales productores del cultivo de papa y de alpacas a nivel nacional.

La alta vulnerabilidad a la variabilidad climática. Por eso surge la motivación y necesidad de tener trabajos que puedan ser realizados, divulgados y utilizados por los gobiernos de turno para tomar decisiones preventivas y de adaptación.

Sin embargo, en los años húmedos, en algunas zonas, se perciben mejores rendimientos por el efecto de temperaturas elevadas, acelerando el ciclo fenológico y suficiente disponibilidad de agua (Blenkinsop, et al., 2008).

Si bien es cierto, estos resultados consideran el impacto climático directo de la temperatura y la precipitación pluvial, pudiendo enmascarar impactos como la proliferación de plagas, poca preparación del cultivo a periodos intensos de calor sin

precipitación o por el contrario anegamiento de suelos. Dado que uno de los problemas que aparentemente serán de mayor consideración con cambio climático en el altiplano, donde se determinó que la situación bajo éste escenario es crítica en todas las zonas y bajo cualquier escenario de precipitación, pues la falta de agua en la siembra provocará hasta un 90% de pérdida de los rendimientos (Anwar, *et al.*, 2007).

Igualmente, los impactos de los cambios en el clima sobre la producción de cultivos varían ampliamente de una región a otra, se espera que los cambios anticipados tengan grandes impactos y de gran envergadura principalmente en zonas tropicales de países en desarrollo con regímenes de precipitación que se encuentran entre semiárido y húmedo (Cline, 2007).

Es decir, las implicancias pueden ser muy profundas para los agricultores de subsistencia ubicados en ambientes frágiles, donde se esperan grandes cambios en productividad, pues estos agricultores dependen de cultivos que potencialmente serán muy afectados (p.ej. maíz, frijoles, papas, arroz, etc.). Muchos investigadores expresan mayor preocupación por áreas donde la agricultura de subsistencia es la norma, porque la disminución de tan sólo una tonelada de productividad podría llevar a grandes desequilibrios en la vida rural (P. G. Jones & Thornton, 2006).

Ya que, las proyecciones de cambio climático refieren que los cambios mayores que el promedio global ocurrirán en altitudes elevadas. El altiplano es una zona por encima de 3800 msnm, por lo que se podría esperar que los cambios de temperatura sean mayores, afectando fuertemente a los glaciares y a los sistemas productivos (Baudoin, *et al.* 1991).

Aunque, podría disminuir el almacenamiento natural de agua dulce que es fundamental para la agricultura de altura (Thomson *et al.*, 2006), constituyéndose una amenaza para la población de la cuenca que lleva adelante sus actividades agrícolas, en dependencia de las lluvias de verano (García, 2009).

De manera que, la precipitación varía desde unos 1000 mm/año en la parte norte de la cuenca, y en el centro del lago hasta 3000 mm/año, con tendencias a disminuir hacia el sur. Las inundaciones afectan las áreas circunlacustres del lago Titicaca, por ende requiere de un conjunto de medidas de regulación y de protección local. Además, la campaña agrícola es dependiente de las precipitaciones pluviales (enero-marzo), pero

estos últimos años vienen presentándose veranillos irregulares ocasionando graves sequías y con heladas frecuentes.

Así mismo, desde la antigüedad, el campesino del altiplano ha adoptado una estrategia de minimización de los riesgos que dificulta las inversiones productivas. Se ha verificado una incidencia mayor de las sequías con pérdidas totales de 210 millones US\$ en 1983 y 1989, comparadas con las inundaciones de 1985/86 de 112 millones US\$. La influencia microclimática del lago induce a una mayor concentración humana en las regiones circunlacustres, lo que causa una excesiva parcelación de la tierra del medio rural que corresponde a 70% del total.

Además, la mayor parte de la actividad agropecuaria está constituida por la ganadería (bovino, ovino y camélido), cuyo mal manejo se manifiesta en el sobrepastoreo. Sin embargo, existe un potencial nada despreciable, con ventajas comparativas, en la producción ganadera (camélidos) en la zona alta de la cuenca, y cultivos andinos en media y baja de la cuenca (quinua, papa, haba), así como en la pesca lacustre, en el marco de una gran diversificación de actividades.

Por eso, las acciones a ser promovidas deben ser adaptadas a las condiciones imperantes, es decir puntuales, modulares, y apoyadas por un trabajo de capacitación y organización campesina frente a riesgos climáticos.

Los ejes del programa de desarrollo se pueden simplificar en: considerar la integralidad del proceso productivo (desde la producción hasta comercialización), reducir los riesgos climáticos (riego, invernaderos), y contrarrestar los efectos de la degradación ambiental mediante el uso del drenaje, el cultivo de pastos mejorados (piso forrajero), la utilización de técnicas conservacionistas (camellones, terrazas, agroforestería).

De manera que, el presente trabajo pretende conocer el comportamiento de los elementos del clima y su influencia en la actividad agrícola, ya que el rendimiento de los cultivos en estos últimos años viene variando con el pasar de los años, así plantear otros especies alternativos para mejorar la producción agrícola.

2.3 Objetivos

2.3.1 Objetivo general

Evaluar el efecto de la temperatura y precipitación en la agricultura de la cuenca

Coata, Puno-Perú.

2.3.2 Objetivos específicos

- Analizar el comportamiento de las series históricas de temperaturas extremas de la cuenca Coata.
- Analizar el comportamiento de las series históricas de precipitaciones pluviales de la cuenca Coata.
- Determinar la relación que existe entre las variables climáticas y el rendimiento de los cultivos seleccionados en el periodo de veinte años en la cuenca Coata.

2.4 Hipótesis

2.4.1 Hipótesis general

El efecto de la temperatura y precipitación genera un impacto en la agricultura, repercutiendo así en el rendimiento de los cultivos del pan llevar, de la cuenca Coata, Puno-Perú.

2.4.2 Hipótesis específicas

- El cambio climático genera repercusiones positivas en el comportamiento de las series históricas de la temperatura en la cuenca Coata en el periodo analizado, con tendencias al incremento.
- El cambio climático genera variabilidades en la actuación de las series históricas de las precipitaciones pluviales en la cuenca Coata en el periodo de estudio.
- Las variables climáticas tienen relación inversa con el rendimiento de los cultivos seleccionados en el periodo de veinte años en la cuenca Coata.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Lugar de estudio

El presente trabajo se llevó a cabo en la cuenca Coata durante el año 2016 a 2017, con los datos meteorológicos provenientes de las estaciones climatológicas principales del ámbito de estudio desde 1966 a 2014, y los datos de rendimiento del cultivo de quinua, papa, haba provienen del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) de la Dirección Regional de Agricultura Puno del Ministerio de Agricultura desde 1994 a 2014.

Climatológicamente se encuentra ubicado dentro de la influencia de la cuenca del río Coata que comprende la vertiente del lago Titicaca lado peruano, el subtipo climático A, clasificado según ONERN 1965. En esta zona se desarrollan cultivos como la papa, quinua, cebada, haba, forrajes, alfalfa, hortalizas entre otros de importancia económica para los pobladores del ámbito de estudio.

La cuenca del río Coata se ubica íntegramente dentro del departamento de Puno, ocupa las superficies de las provincias de San Román, Lampa y parte de las provincias de Puno y Huancané. La cuenca del río Coata está conformada básicamente por las cuencas de los ríos Cabanillas y Lampa. La superficie total de la cuenca Coata es de 4,908.44 Km², su altitud máxima y mínima es de 5,300 y 3,800 msnm., respectivamente, y su altitud media es de 4,336.12 msnm. La longitud de curso más largo es de 188.57 Km. con una pendiente media de 1.13%. Pluviométricamente es una cuenca con buen rendimiento hídrico. La precipitación total anual en la cuenca varía de 595.5 mm. (Juliaca) a 870.8 mm. (Quillisani). Los valores más altos se registran en el entorno del lago Titicaca y en el parte Alta de la cuenca. Las temperaturas más bajas

se producen en el mes de julio, mientras que las más elevadas se registran de noviembre a marzo, por lo general centradas en enero.

3.1.1 Límites hidrográficos

La cuenca limita por el Este con las cuencas de Huancané y Suches, por Oeste con la cuenca del río Vilcanota, por Norte con la cuenca del río Inambari y por el Sur con la cuenca del río Coata.

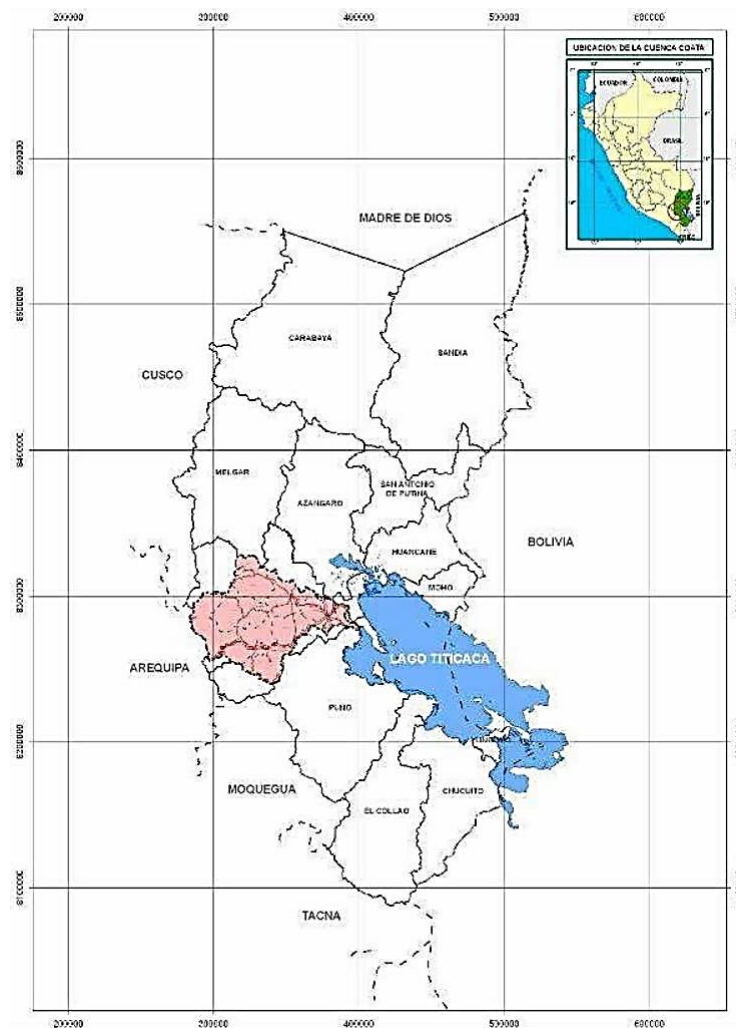


Figura 1. Ubicación geográfica de la cuenca del río Coata

3.1.2 Fisiografía de la zona

En la cuenca del río Coata se ubica a alturas mayores a los 3810 m.s.n.m. y cuya área se extiende sobre la región de Puno. Las capas más bajas del Altiplano (de 3810 a 5300 m.s.n.m.) se encuentran alrededor del lago Titicaca (elevación 3825 m.s.n.m.) especialmente al oeste y nor-oeste del lago; cordillera con

elevaciones mayores a 5400 m.s.n.m. (Bazoberry, 1969).

La evolución del Altiplano y la cadena montañosa de los Andes es el resultado de movimientos tectónicos y de la intrusión de roca volcánica que causó el levantamiento y los pliegues de las rocas sedimentarias que caracteriza al Altiplano y a la vertiente oriental de los Andes. Se encuentran abundantes sedimentos de lagos extintos o en su defecto en vías de extinción. El resultado son suelos mayormente derivados de material sedimentario primario y de depósitos lacustres. Los procesos de formación de suelos están caracterizados por una erosión intensa y una sedimentación. Los suelos están generalmente poco desarrollados.

3.1.3 Características geológicas

Teniendo en cuenta los diversos materiales parentales de los suelos de la zona estudiada, cuyo patrón distribuido es: suelos derivados de materiales fluviónicos, de materiales lacustrinos, de materiales coluvio- aluviales, de materiales residuales y suelos de origen antrópico (Andrade, 2008).

3.1.4 Características agroecológicas

La localidad de Arapa y Progreso están dentro del tipo climático mesotermico B`1, Sub-húmedo C2; La estación de Azángaro y Chuquibambilla se encuentran dentro del clima mesotermico C`2, húmedo B2. Como una clasificación climática únicamente caracteriza cierto tipo de clima y ordenadas manifestaciones medias de la atmosfera, además el valor no depende del hecho si concuerda o no con ciertas distribuciones de la naturaleza, si no del grado de certeza con lo que se logra clasificar el clima (Baudoin, 1991).

ONERN (1965) tipifica el clima de la vertiente del Titicaca como semi- seco y frio determinando cuatro sub tipos climáticos. La temperatura y la precipitación; considera además la evaporación media y la precipitación media, teniendo estas consideraciones la hoya hidrográfica es del tipo climático Sub-húmedo y húmedo.

La temperatura es variable, siendo los meses más fríos junio-agosto y los más cálidos noviembre–diciembre. La precipitación tiene un carácter estacionario,

el inicio del periodo de lluvias es en el mes de diciembre generalmente y se extiende hasta el mes de marzo inclusive, presentándose retrasos y adelantos en la lluvia y se presentan en octubre y noviembre y en otras se retrasan apareciendo en enero o principios de febrero, el régimen pluvial es variable e irregular, se tiene años húmedos seguidos (Baudoin, 1991).

3.2 Población

La población de la investigación constituida por todas las estaciones meteorológicas comprendidas en la figura 2 y las agencias agrarias que se encuentran dentro de jurisdicción de estudio.

3.3 Muestra

La muestra de estudio se ha seleccionado las estaciones meteorológicas y se ha superpuesto con las Agencias Agrarias de la Dirección Regional Agraria del Ministerio de Agricultura, quien proporcionó las informaciones de producción agrícola seleccionadas (papa, quinua y haba).

3.4 Métodos de investigación

La metodología utilizada para la evaluación de impacto del cambio climático sobre el rendimiento de la agricultura en la cuenca del río Coata, se siguen los siguientes procedimientos:

3.5 Descripción detallada de métodos por objetivos específicos

3.5.1 Información básica

Se han recopilado las informaciones básicas de las investigaciones a nivel de informes, revistas y artículos científicos, a fin de sistematizar dichas informaciones para sus respectivas codificaciones posteriores.

3.5.2 Información cartográfica

Las informaciones cartográficas que se han tomado como base en el presente trabajo, para determinar las características de la cuenca hidrográfica del lago Titicaca y sus afluentes son: Cartas nacionales a escala 1/100000, planos catastrales a escala 1/25000, del sistema hídrico de la hoya del Titicaca y

de macrozonificación ecológica y económica del sistema TDPS.

3.5.3 Información de producción agrícola

Se obtuvo de las Agencias Agrarias de la Dirección Regional de Agricultura Puno, en los diferentes puntos estratégicos dentro del área de los estudios más importantes, presentando registros desde el año 1994-2014, sobre los rendimientos de los cultivos de haba, papa y quinua. Posteriormente se sistematizan y procesan las informaciones recopiladas en la fase inicial de acuerdo a nuestro interés para el presente trabajo.

3.5.4 Información meteorológica

Las informaciones meteorológicas se obtuvieron de SENAMHI Puno desde 1965 hasta 2014 en promedio, referentes a temperaturas medias mensuales, máximas, mínimas, y precipitaciones pluviales medias mensuales.

3.5.5 Análisis de la información por objetivos planteados

3.5.5.1 Selección de las series históricas de precipitación y temperaturas

Se analizó los datos de las estaciones desde tres puntos de vista, por la longitud de la serie de datos, estaciones con datos faltantes menores o iguales al 15% y por la consistencia o homogeneidad de los mismos.

3.5.5.2 Análisis de consistencia de la información meteorológica

Se analizó la consistencia de los datos meteorológicos mediante pruebas de consistencia y homogeneidad de precipitación y temperaturas, que permitió detectar, corregir y eliminar los errores sistemáticos y aleatorios que se presentaron en series históricas de datos meteorológicas mediante el análisis estadístico y con el índice del vector regional.

Se analizó la consistencia de las series históricas mediante pruebas estadísticas a fin de obtener una serie confiable, es decir, homogénea y consistente, y mediante el software hydraccess y estadísticamente, a fin de realizar:

- La consistencia, homogenización y regionalización de la precipitación y temperaturas,
- Relleno de series mensuales mediante correlación múltiple cruzada,
- Estimación de la precipitación espacial aplicando técnicas geo-estáticas.

Después de obtener de los gráficos contruidos para el análisis visual, los periodos de posible corrección y los periodos de los datos que se mantuvieron con sus valores originales, se procedió al análisis estadístico.

Se utilizó la prueba “T” para la verificación de la hipótesis de igualdad de medias y la prueba de “F” para verificar la hipótesis de igualdad de la desviación estándar; mbo con un nivel de significancia del 5% y 95% de probabilidad.

3.5.5.3 Consistencia en la media

La prueba permitió detectar la inconsistencia en la media, dado que, si los valores medias son estadísticamente iguales o diferentes de la siguiente manera: Se calculó la media y desviación estándar para cada periodo, luego la T_c , posteriormente la T_T mediante la tabla T de Student y finalmente se comparó T_c con T_T .

- Si $|t_c| \leq (95\%) \rightarrow 1 = 2$ (Son iguales estadísticamente), no se realizan procesos de corrección.
- Si $|t_c| > (95\%) \rightarrow 1 \neq 2$, (Son diferentes estadísticamente), son corregidos.

3.5.6 Consistencia en la desviación estándar

Mediante la prueba se analizó, si los valores de la desviación estándar de las submuestras son estadísticamente iguales o diferentes de la siguiente manera, calculando la varianza de ambos periodos, luego se calculó la c , posteriormente la F mediante la tabla F de Fisher y finalmente se comparó la c con ; se asume similares criterios de la prueba T.

Con estos análisis se conoció que efectivamente los saltos no son significativos tanto en la media como en la desviación estándar.

Ahora vemos, que la calidad, su confiabilidad y su consistencia de los datos fue definido por la regionalización, y la validación de estos para su uso y aplicación para analizar las tendencias, agrupando en grupos regionales de estaciones meteorológicas cuyos registros presentan un comportamiento temporal homogéneo a nivel mensual y anual. La principal herramienta utilizada para esta etapa, es el vector regional con el software hydraccess, desde 1966 a 2014.

Es decir, para las precipitaciones como para temperaturas se realizaron el análisis de regionalización a nivel mensual y de año hidrológico sobre las estaciones, conformando así en tres grupos regionales, con el fin de evaluar la consistencia para el periodo más extenso posible según los criterios indicados en la selección de estaciones. En donde se observó que existe correspondencia entre las

temperaturas y precipitaciones registradas en las diferentes estaciones regionales durante el periodo 1966 a 2010. El análisis de consistencia de la información y el relleno de datos faltantes de la estaciones se realizó a través de un modelo de regresión lineal múltiple cruzada con el software hydraccess, con base de datos creados.

Además, este es un paquete completo que permite importar y guardar varios tipos de datos hidrometeorológicos en una base de datos en formato Access y realizar los procesamientos básicos que un meteorólogo puede requerir, con datos instantáneos, horarios, diarios y mensuales, anuales de cotas, caudales, calidad de aguas, meteorológicos. Estos se organizaron por campos, y fueron vinculados al código de la estación (punto de medición) y a un captor (código de la serie observada), la misma que posee propiedades que definen su tipo, unidad, número de dígitos significativos y de decimales, etc. Existen tres tipos de captores: Captores instantáneos (I) donde los datos son ingresados con fecha y hora libres sin imponer un intervalo de tiempo fijo, captores diarios (D) donde se ingresa un solo valor por día y captores mensuales (M) es donde se ingresa un solo valor por mes.

Así mismo, entre los procesamientos se generaron gráficas simples o comparativos a partir de los datos importados; visualización gráfica; desde diario a mensual; elaborando así cuadros de anuario a nivel diario o mensual y un intervalo de los datos presentes en la base.

De ahí que, se organizó el vector regional de índices anuales o mensuales (individualmente) de precipitación y de temperaturas en base a una serie cronológica de datos temporales ficticios, correspondientes a una estación igualmente ficticia. El VR de índices toma en cuenta los efectos de la tendencia de las series, y los pseudo-ciclos de la zona o región climática que afectan a cada una de las estaciones, verificando de esta manera la homogeneidad temporal y espacial de las series observadas en las estaciones pertenecientes a la misma zona climática. Es necesario recalcar que, el cálculo de los índices del VR se basa en una matriz de observaciones compuesta de los registros anuales o mensuales de la variable meteorológica de n estaciones con t años de registros, con observaciones faltantes a ciertas estaciones en ciertos años. Para cada

estación se calcula una media que cubre el grupo de datos del periodo de estudio, y para todos los años, se calcula un índice superior a 1 cuando el año presenta valores altos (año húmedo o con altas temperaturas) e inferior a 1 cuando el año tenga valores bajos (año con déficit de lluvias o con bajas temperaturas). El VR toma en cuenta la información de una región que supuestamente es homogénea (comportamiento temporal similar). El valor del VR del grupo regional de estaciones, permitió la crítica de los datos que facilita grandemente:

- Evaluar la calidad de los datos de una estación y su pertenencia al grupo regional, mediante diversos parámetros estadísticos proporcionados por el VR.
- Comparar y evaluar gráficamente el comportamiento de las estaciones dentro de un grupo y entre grupos, trazando el vector regional del grupo de las estaciones que lo componen, así como las curvas doble acumuladas. Esto permitió identificar rápidamente quiebres y datos anómalos, esto depende de los datos de entrada, aunque los algoritmos usados intentan minimizar la influencia de los datos erróneos.
- Eliminan o corrigen gradualmente los datos incoherentes más evidentes en los datos de entrada, llegando así a un VR de buena calidad y esto se usó 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.

Dado que, la salida del programa proporciona varios parámetros que evalúan la calidad de los resultados. Se consideró principalmente los siguientes parámetros: El coeficiente de correlación “r” del índice con las estaciones (>0.70), el valor de las desviaciones (que se deben mantener dentro de un margen de tolerancia) y los límites de confianza (inferior y superior) dentro de los que se deben mantener las series interanuales del índice del vector.

Igualmente, estos parámetros fueron admitidos, dentro del grupo regional conformado por estaciones, y sobre contexto físico geográfico diferente (altiplano peruano). El análisis de resultados llevó a disminuir el tamaño del grupo regional, e identificó estaciones cuyos datos son inconsistentes y en caso extremo eliminar

aquellas estaciones con bajo coeficiente de correlación y alta desviación, quedando en forma de índices obtenidos sobre los valores anuales de periodos históricos comunes de al menos 9 estaciones del año hidrológico adoptado (setiembre-agosto), las estaciones regionales más consistentes que se han filtrado se encontraron dentro del intervalo de confianza las estaciones seleccionadas.

3.5.7 Información meteorológica

Antes de realizar el análisis de tendencias, se realizó el análisis de saltos y con la serie libre de saltos, se procedió a analizar las tendencias en la media y en la desviación estándar.

Para ver si la serie presenta tendencia en la media se procedió al cálculo de la tendencia en la media, luego los parámetros de la ecuación de regresión lineal simple, y finalmente compararon si la $\epsilon \leq (95\%)$, entonces no se presenta tendencia en la media y de lo contrario se los presentan.

Se utilizó la tendencia en la desviación estándar puesto que se trabajó con datos mensuales para el primer y segundo objetivo, con el procedimiento siguiente:

- Regionalización, y análisis de consistencia de la precipitación y temperaturas a nivel mensual. Se aplicó el método del vector regional (MVR) para identificar anomalías, valores extremos o comportamientos no homogéneos en la región, que se evaluaron para establecer su confiabilidad con el fin de ratificarlos o corregirlos.
- Preparación y armado de series continuas mensuales y anuales de los datos de precipitación y temperaturas para el análisis de tendencias. Los datos originales presentan vacíos en algunos meses o periodos, que fueron reconstituidos para poder aplicar test estadísticos usados para el análisis de tendencias.
- Análisis de tendencias de precipitaciones y temperaturas mensuales y anuales, aplicando test estadísticos paramétricos y no paramétricos usando el software TREND (test Mann-Kendall y Sperman's Rho, t-student (Xue *et al.*, 2009)), los resultados se interpretaron considerando los comportamientos de

eventos extremos de los elementos frente al fenómeno del cambio climático.

3.5.8 Análisis del rendimiento de los cultivos frente al cambio climático en la cuenca del río Coata

Para relacionar entre la producción de cultivos de pan llevar con los elementos climáticos de la cuenca Coata, se obtuvieron los rendimientos de los cultivos para cada zona sub-tipo climático de las Oficinas del Ministerio de Agricultura-Puno y posteriormente se analizó la consistencia de las informaciones del periodo considerado en el presente trabajo, luego se realizó cálculos de los estimadores para cada cultivo utilizando el método de mínimos cuadrados ordinarios y regresión, el rendimiento en función de las variables climáticas; primero por separado la temperatura mínima y luego por la temperatura máxima, de precipitación pluvial, para comparar el efecto individual de cada variable. Seguidamente se realizó la estimación conjunta de las variables climáticas (temperaturas máximas y mínimas extremas) y las precipitaciones pluviales y al final se incluyeron los eventos extremos.

Seguir esta secuencia de estimaciones permitió ver el impacto de cada variable en el modelo y al final se comparó cada uno y se eligió el mejor modelo según los criterios estadísticos, posteriormente se realizó las interpretaciones de los valores obtenidos de la interrelación de las variables climáticas y el rendimiento de los cultivos seleccionados, mediante el coeficiente de correlación de Pearson.

Para interpretar el coeficiente de correlación (r) que se obtiene, se tiene como criterio de decisión, la siguiente calificación (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 | $0.81 \leq r \leq 0.99$ |
| | $1.00 \leq r \leq 1.00$ |

Para la prueba de hipótesis estadística se toma en cuenta lo siguiente:

No existe correlación

: $H_0: = 0$

Existe correlación

: $H_1: \neq 0$. Se considera un nivel

de significancia de $p < 5\%$.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Comportamiento de las temperaturas

Usando las cartas nacionales del Perú se ha delimitado la cuenca del río Coata, obteniéndose una superficie de 4,908.44 Km², así mismo se ha ubicado las estaciones meteorológicas mediante sus coordenadas UTM, proporcionados por el SENAMHI - Puno.

El análisis de consistencia se efectuó a través de análisis de correlación, basado en la suposición de que las temperaturas medidas en las estaciones de la cuenca se relacionen entre sí, mediante los índices anuales de vector regional con el software de hydraccess y validadas estadísticamente.

En la figura 3 de índices anuales para temperaturas máximas, muestran un comportamiento regional homogéneo, puesto que los índices regionales de las estaciones están dentro de los límites de confianza; es decir, que los datos son consistentes, homogéneas y de buena calidad y además tienen un comportamiento similar. Se encuentra fuera del límite de confianza, a pesar de esta condición se tomó en cuenta por tener una serie larga y continua para ser comparada con las otras estaciones adoptadas para el análisis de tendencias.

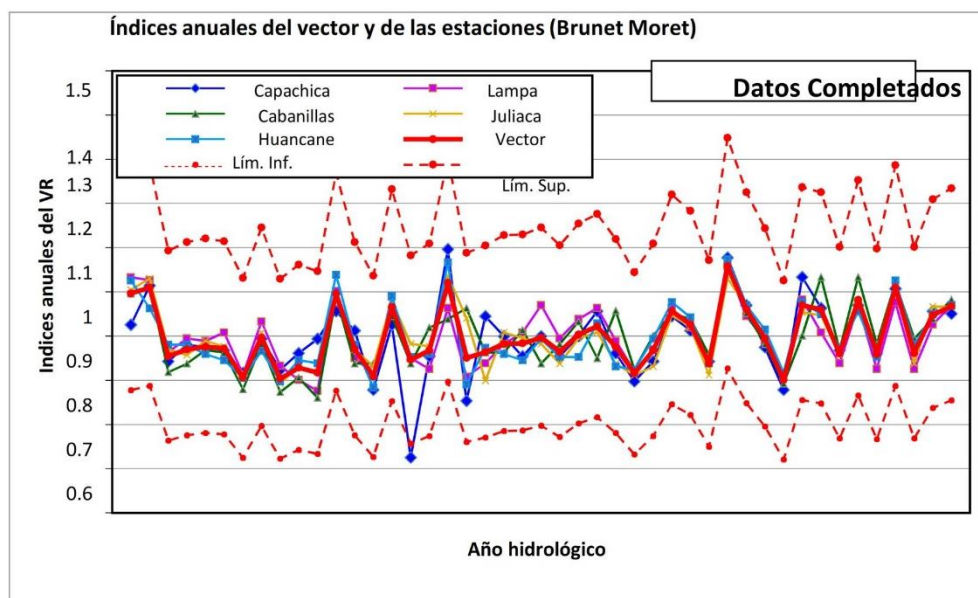
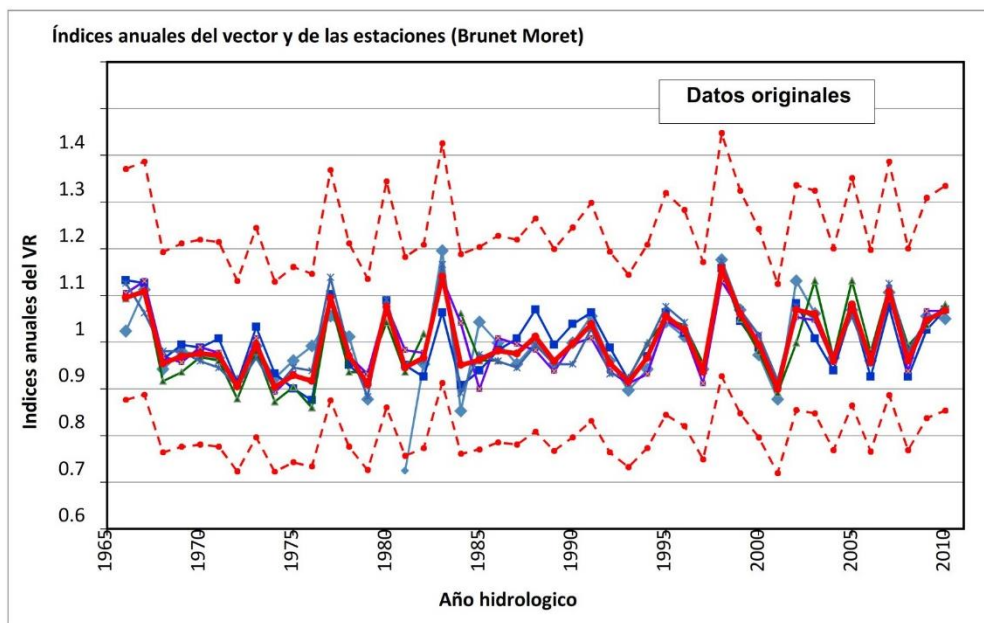


Figura 3. Índices anuales de los vectores regionales de datos originales y completados de las temperaturas máximas

En la figura 3 los índices anuales de temperaturas medias, muestran un comportamiento regional homogéneo, estando en límites de confianza, es decir los datos son de buena calidad:

Donde:

A = Son datos originales

B = Son datos complementados.

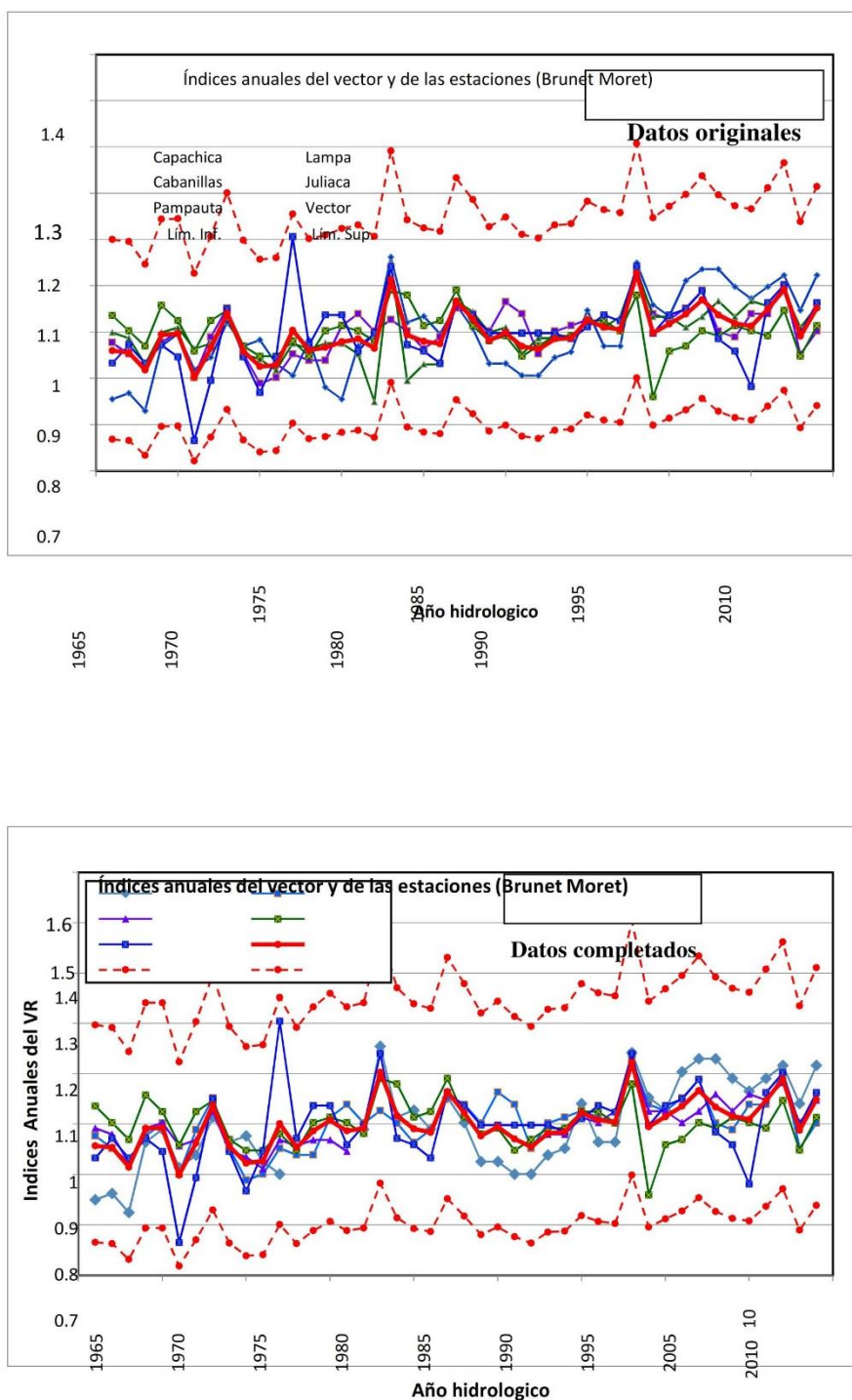


Figura 4. Índices anuales de los vectores regionales de datos originales y completados de las temperaturas medias.

Dónde: A= Son datos originales

B= Son datos complementados.

Las temperaturas anuales de las cinco estaciones analizadas, que se muestra en la

tabla 2, cumplen con la hipótesis de pseudo-proporcionalidad, tanto los datos originales como los datos completados y corregidos son consistentes, ya que en la columna correspondiente a “Correl /Vector” los valores tiende a la unidad (0.836).

Tabla 2
Correlación de Temperaturas Medias Anuales

| | N° ESTACIÓN | N° Años | D.E.Obs. | Coef. Variación | Temperatura media anual | | Media desvios | D. Desvios | E. Homogeneidad B.M. | Correl/ Vector |
|------------------|--------------|---------|----------|-----------------|-------------------------|-----------------|---------------|------------|----------------------|----------------|
| | | | | | Media Obs. | Media calculada | | | | |
| DATOS ORIGINALES | 1 Capachica | 47 | 0.700 | 0.087 | 7.800 | 7.800 | -0.003 | 0.051 | 0.007 | 0.836 |
| | 2 Lampa | 47 | 0.400 | 0.053 | 8.000 | 8.000 | 0.001 | 0.030 | 0.034 | 0.831 |
| | 3 Cabanillas | 47 | 0.500 | 0.054 | 8.700 | 8.700 | 0.003 | 0.027 | 0.025 | 0.898 |
| | 4 Juliaca | 26 | 0.400 | 0.046 | 8.100 | 8.100 | 0.002 | 0.042 | 0.001 | 0.653 |
| | 5 Pampauta | 26 | 0.600 | 0.048 | 7.900 | 7.900 | -0.001 | 0.051 | 0.125 | 0.713 |
| DATOS COMPLETAD | 1 Capachica | 47 | 0.700 | 0.086 | 7.800 | 7.700 | -0.003 | 0.055 | 0.019 | 0.831 |
| | 2 Lampa | 47 | 0.400 | 0.051 | 8.000 | 8.000 | 0.001 | 0.031 | 0.104 | 0.802 |
| | 3 Cabanillas | 47 | 0.500 | 0.053 | 8.700 | 8.700 | 0.003 | 0.035 | 0.009 | 0.838 |
| | 4 Juliaca | 47 | 0.400 | 0.045 | 8.100 | 8.100 | 0.002 | 0.043 | 0.001 | 0.551 |
| | 5 Pampauta | 47 | 0.600 | 0.047 | 7.900 | 7.900 | -0.001 | 0.054 | 0.102 | 0.683 |

La visualización de curvas de dobles acumulaciones entre estaciones y vector regional de las zonas en estudio determinan que existe una buena relación entre el vector y las estaciones. Esto se ha trabajado con datos completados y corregidas, tal como se muestra en la figura 5, que no presentan quiebres significativos.

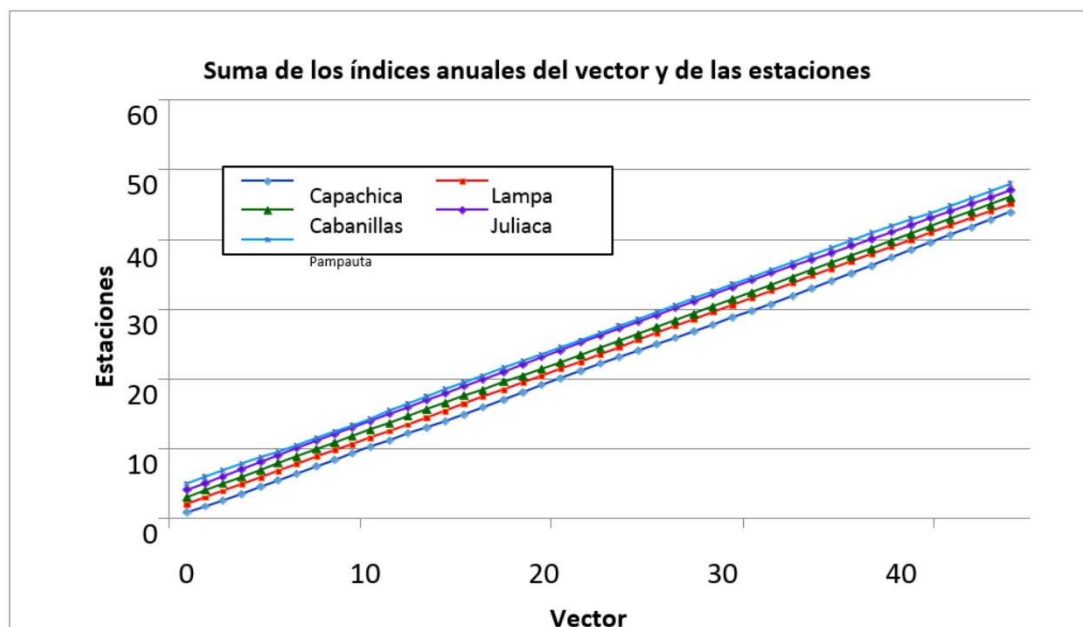


Figura 5. Correlación de temperaturas medias anuales

En la figura 5, las series históricas anuales de las temperaturas mínimas, muestran un comportamiento regional homogéneo, esto indica que los datos son de buena calidad y se admite que tienen un comportamiento similar entre las estaciones.

Temperaturas mínimas anuales: Serie histórica

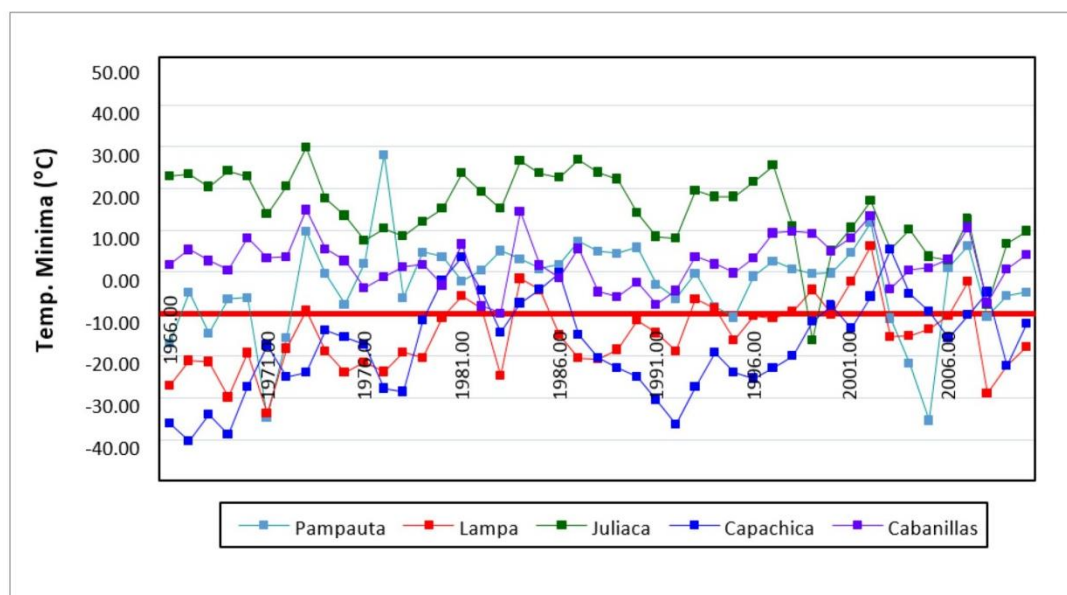


Figura 6. Datos originales y completados de las temperaturas mínimas

Los cuadros de los test estadísticos paramétricos y no paramétricos de análisis de tendencia para las series temporales de temperaturas máximas, medias y mínimas anuales, resultados anuales y las gráficas de tendencia lineal anual.

Se han seleccionado 02 estaciones meteorológicas más confiables de la cuenca que son Lampa y Capachica, para analizar mejor las tendencias de las temperaturas máximas y mínimas, con la finalidad de efectuar un análisis del comportamiento de la temperatura mensual y anual en la parte alta, media y baja.

El análisis de tendencias de las temperaturas máximas mediante los test paramétricos y no paramétricos según las informaciones meteorológicas de las estaciones; en el primer grupo en caso de Capachica, Cabanillas y Pampauta presentan tendencias significativas al incremento con el 0.01 del nivel de significancia, Juliaca presenta tendencias al incremento significativo con el 0.01 y 0.05 del nivel de significancia, y Lampa sólo con los test Mann Kendall y Ran Ksum tendencias positivas significativas con un 0.10 del nivel de significancia y con otros test no presentan tendencias

significativas.

Así mismo, las temperaturas medias de Capachica, Lampa, Cabanillas, Pampauta presentan tendencias significativas de incremento con un nivel de significancia de 0.01, Juliaca no presentan cambios significativos en el periodo de 1966 a 2014.

Tabla 3
Resumen del Análisis de Tendencias de Temperaturas Máximas, Medias y Mínimas

| TEMPERATURA | | | ESTACIONES | | | | |
|---------------------------------|-----|--|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| MÁXIMA | | | CAPACHICA | LAMPA | CABANILLAS | JULIACA | PAMPAUTA |
| AÑO HIDROLOGICO 1966-2014 | I | | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) |
| | II | | (+) | | (+) | (+) | (+) |
| | III | | (+) | | (+) | (+) | (+) |
| | IV | | (+66-88>89-14 | (+66-88>89-14 | (+66-88>89-14 | (+66-88>89-14 | (+66-88>89-14 |
| | V | | (+89-14>66-88 | | (+89-14>66-88 | (+89-14>66-88 | (+89-14>66-88 |

| TEMPERATURA | | | ESTACIONES | | | | |
|---------------------------------|-----|--|---------------|---------------|---------------|---------|---------------|
| MEDIA | | | CAPACHICA | LAMPA | CABANILLAS | JULIACA | PAMPAUTA |
| AÑO HIDROLOGICO 1966-2014 | I | | (+) | (+) | (+) | | (+) |
| | II | | (+) | (+) | (+) | | (+) |
| | III | | (+) | (+) | (+) | | (+) |
| | IV | | (+66-88>89-14 | (+66-88>89-14 | (+66-88>89-14 | | (+66-88>89-14 |
| | V | | (+89-14>66-88 | (+89-14>66-88 | (+89-14>66-88 | | (+89-14>66-88 |

| TEMPERATURA | | | ESTACIONES | | | | |
|---------------------------------|-----|--|------------|---------------|------------|---------------|----------|
| MÍNIMA | | | CAPACHICA | LAMPA | CABANILLAS | JULIACA | PAMPAUTA |
| AÑO HIDROLOGICO 1966-2014 | I | | (+) | (+) | | (-) | |
| | II | | (+) | (+) | | (-) | |
| | III | | (+) | (+) | | (-) | |
| | IV | | | (+66-88>89-14 | | (+66-88>89-14 | |
| | V | | | (+89-14>66-88 | | (+89-14>66-88 | |

| REFERENCIAS | | | |
|-------------|-----------------------|------|--|
| I | Test Mann Kendall | 0.10 | N.S. Con poca evidencia en contra de Ho |
| II | Test Spearman Rho | 0.05 | N.S. Con evidencia posible en contra de Ho |
| III | Test Regresión Lineal | 0.01 | N.S. Con evidencia fuerte en contra de Ho |
| IV | Test Ran Ksum | (-) | Tendencia negativa (decreciente) |
| V | Test T-Student | (+) | Tendencia positiva (ascendente) |

N.S.: Nivel de significancia

En la tabla 3, muestran cambios significativos positivos las temperaturas máximas en todas las estaciones al 0.01 del nivel de significancia durante el periodo (1966-2014); las temperaturas mínimas de Capachica y Lampa presentan cambios significativos positivos al 0.01 del nivel de significancia, mientras que Juliaca presentan tendencias negativas, pero las estaciones de Cabanillas y Pampauta no presentan cambios significativos; y las temperaturas medias de las estaciones presentan tendencias positivas, a excepción de la estación de Juliaca no presentan cambios significativos.

Así mismo, en las tablas 3, 4 y 5 muestran un resumen de análisis de tendencias de los tres estaciones seleccionados para análisis de tendencias del periodo (1966-2014) en la parte baja, media y alta de la cuenca Coata, donde se identifica mensualmente y anualmente si la serie temporal de temperaturas máximas, medias y mínimas presentan cambios significativos mediante test paramétricos y no paramétricos. En la estación Ayaviri, las temperaturas máximas en meses de agosto, setiembre, octubre, noviembre, diciembre, febrero, abril, mayo, junio y julio tienden a incrementar. Mientras que en la estación Lampa sólo en los meses de setiembre y diciembre tienden a incrementar.

Tabla 5
Resumen del análisis de tendencias de las temperaturas mediante los test paramétricos y no paramétricos (1966-2014)

| ESTACIÓN | TEMPERATURA | PERIODO | TEST | AGO | SET | OCT | NOV | DIC | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AÑO | HIDROLOGICO | | |
|-------------|-----------------------|-----------|------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--|--------------------------------|----------------------------------|
| CAPACHICA | MEDIA | 1966-2014 | I | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | | |
| | | | II | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | |
| | | | III | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) |
| | | | IV | (+066-88-8914 (+066-88-8914 | (+066-88-8914 (+066-88-8914 | (+066-88-8914 (+066-88-8914 | (+066-88-8914 (+066-88-8914 | (+066-88-8914 (+066-88-8914 | (+066-88-8914 (+066-88-8914 | (+066-88-8914 (+066-88-8914 | (+066-88-8914 (+066-88-8914 | (+066-88-8914 (+066-88-8914 | (+066-88-8914 (+066-88-8914 | (+066-88-8914 (+066-88-8914 | (+066-88-8914 (+066-88-8914 | (+066-88-8914 (+066-88-8914 | (+066-88-8914 (+066-88-8914 | (+066-88-8914 (+066-88-8914 | (+066-88-8914 (+066-88-8914 |
| | | | V | (+089-14-6688 (+089-14-6688 | (+089-14-6688 (+089-14-6688 | (+089-14-6688 (+089-14-6688 | (+089-14-6688 (+089-14-6688 | (+089-14-6688 (+089-14-6688 | (+089-14-6688 (+089-14-6688 | (+089-14-6688 (+089-14-6688 | (+089-14-6688 (+089-14-6688 | (+089-14-6688 (+089-14-6688 | (+089-14-6688 (+089-14-6688 | (+089-14-6688 (+089-14-6688 | (+089-14-6688 (+089-14-6688 | (+089-14-6688 (+089-14-6688 | (+089-14-6688 (+089-14-6688 | (+089-14-6688 (+089-14-6688 | (+089-14-6688 (+089-14-6688 |
| LAMPILA | MEDIA | 1966-2014 | I | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | | |
| | | | II | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | |
| | | | III | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) |
| | | | IV | (+066-88-8914 (+066-88-8914 | (+066-88-8914 (+066-88-8914 | (+066-88-8914 (+066-88-8914 | (+066-88-8914 (+066-88-8914 | (+066-88-8914 (+066-88-8914 | (+066-88-8914 (+066-88-8914 | (+066-88-8914 (+066-88-8914 | (+066-88-8914 (+066-88-8914 | (+066-88-8914 (+066-88-8914 | (+066-88-8914 (+066-88-8914 | (+066-88-8914 (+066-88-8914 | (+066-88-8914 (+066-88-8914 | (+066-88-8914 (+066-88-8914 | (+066-88-8914 (+066-88-8914 | (+066-88-8914 (+066-88-8914 | (+066-88-8914 (+066-88-8914 |
| | | | V | (+089-14-6688 (+089-14-6688 | (+089-14-6688 (+089-14-6688 | (+089-14-6688 (+089-14-6688 | (+089-14-6688 (+089-14-6688 | (+089-14-6688 (+089-14-6688 | (+089-14-6688 (+089-14-6688 | (+089-14-6688 (+089-14-6688 | (+089-14-6688 (+089-14-6688 | (+089-14-6688 (+089-14-6688 | (+089-14-6688 (+089-14-6688 | (+089-14-6688 (+089-14-6688 | (+089-14-6688 (+089-14-6688 | (+089-14-6688 (+089-14-6688 | (+089-14-6688 (+089-14-6688 | (+089-14-6688 (+089-14-6688 | (+089-14-6688 (+089-14-6688 |
| CARANILLAS | MEDIA | 1966-2014 | I | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | | |
| | | | II | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | |
| | | | III | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) |
| | | | IV | (+066-88-8914 (+066-88-8914 | (+066-88-8914 (+066-88-8914 | (+066-88-8914 (+066-88-8914 | (+066-88-8914 (+066-88-8914 | (+066-88-8914 (+066-88-8914 | (+066-88-8914 (+066-88-8914 | (+066-88-8914 (+066-88-8914 | (+066-88-8914 (+066-88-8914 | (+066-88-8914 (+066-88-8914 | (+066-88-8914 (+066-88-8914 | (+066-88-8914 (+066-88-8914 | (+066-88-8914 (+066-88-8914 | (+066-88-8914 (+066-88-8914 | (+066-88-8914 (+066-88-8914 | (+066-88-8914 (+066-88-8914 | (+066-88-8914 (+066-88-8914 |
| | | | V | (+089-14-6688 (+089-14-6688 | (+089-14-6688 (+089-14-6688 | (+089-14-6688 (+089-14-6688 | (+089-14-6688 (+089-14-6688 | (+089-14-6688 (+089-14-6688 | (+089-14-6688 (+089-14-6688 | (+089-14-6688 (+089-14-6688 | (+089-14-6688 (+089-14-6688 | (+089-14-6688 (+089-14-6688 | (+089-14-6688 (+089-14-6688 | (+089-14-6688 (+089-14-6688 | (+089-14-6688 (+089-14-6688 | (+089-14-6688 (+089-14-6688 | (+089-14-6688 (+089-14-6688 | (+089-14-6688 (+089-14-6688 | (+089-14-6688 (+089-14-6688 |
| REFERENCIAS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| I | Test Mann Kendall | | | | | | | | | | | | | | | | N.S. Con poca evidencia en contra de Ho | (-) | Tendencia negativa (decreciente) |
| II | Test Spearman Rho | | | | | | | | | | | | | | | | N.S. Con evidencia posible en contra de Ho | (+) | Tendencia positiva (ascendente) |
| III | Test Regresión Lineal | | | | | | | | | | | | | | | | N.S. Con evidencia fuerte en contra de Ho | | |
| IV | Test Ran Ksnn | | | | | | | | | | | | | | | | N.S. Nivel de significancia | | |
| V | Test T-Student | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Tabla 6
Resumen del análisis de tendencias de las temperaturas, mediante los test paramétricos y no paramétricos, (1966- 2014)

| ESTACIÓN | TEMPERATURA | PERIODO | TEST | AGO | SET | OCT | NOV | DIC | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AÑO | HIDROLOGICO | | | |
|-------------|-----------------------|-----------|------|------|-----|-----|-----|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------------|-----|----------------------------------|-----|
| CAPACHICA | MINIMA | 1966-2014 | I | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | | | |
| | | | II | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | | |
| | | | III | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | |
| | | | IV | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | |
| | | | V | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | |
| LAMPA | MINIMA | 1966-2014 | I | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | | |
| | | | II | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | |
| | | | III | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) |
| | | | IV | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) |
| | | | V | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) |
| CABANILLAS | MINIMA | 1966-2014 | I | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | | |
| | | | II | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | |
| | | | III | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) |
| | | | IV | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) |
| | | | V | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) |
| REFERENCIAS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| I | Test Mann Kendall | | | 0.10 | | | | N.S. Con poca evidencia en contra de Ho | | | | | | | | | | (-) | Tendencia negativa (decreciente) | |
| II | Test Spearman Rho | | | 0.05 | | | | N.S. Con evidencia posible en contra de Ho | | | | | | | | | | (+) | Tendencia positiva (ascendente) | |
| III | Test Regresión Lineal | | | 0.01 | | | | N.S. Con evidencia fuerte en contra de Ho | | | | | | | | | | | | |
| IV | Test Ran Ksann | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| V | Test T-Student | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Igualmente, en los meses enero, abril, mayo, junio, julio y a nivel anual de la estación Cabanillas tienden a disminuir. Esto también se puede identificar en las gráficas de la línea de tendencias anuales. Pero, en las tres estaciones las temperaturas medias y mínimas a nivel anual tienen tendencias positivas.

4.1.1 Variación de las temperaturas medias en la cuenca

Según table 7, las series de históricas las temperaturas del periodo de veinte años entre 1992 – 2014 no presentan variaciones considerables tal como muestran los valores de la desviación típica y la varianza de 0.723 y 0.523 respectivamente, pero dichos valores presentan variaciones mayores cuando se trabaja con series más largas desde 1966 hasta 2014. Puesto que en la cuenca el clima es bien definido, y este puede tener impacto socioeconómico considerable.

Tabla 7

Medidas de tendencia central y variación del promedio de temperatura

| | Estadísticos | | | | | | |
|------------------|--------------------|--------------------|-------------------|---------------------------|--------------------------------|------------------------------|----------------------------------|
| | Temperatura máxima | Temperatura mínima | Temperatura media | Oscilación de Temperatura | Temperaturas máximas absolutas | Temperatura mínima absolutas | Oscilación máxima de Temperatura |
| Válidos | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Media | 16.596 | 2.446 | 9.529 | 14.109 | 19.444 | -1.807 | 19.923 |
| Mediana | 16.565 | 2.390 | 9.475 | 14.175 | 19.445 | -1.775 | 19.880 |
| Desviación. Típ. | 0.520 | 0.432 | 0.405 | 0.446 | 0.550 | 0.711 | 0.723 |
| Varianza | 0.270 | 0.186 | 0.164 | 0.199 | 0.302 | 0.505 | 0.523 |
| Mínimo | 15.81 | 1.56 | 8.92 | 13.13 | 18.61 | -3.08 | 18.56 |
| Máximo | 17.64 | 3.23 | 10.47 | 14.88 | 20.47 | -0.68 | 21.45 |

Fuente: SENAMHI, 2016

Por lo tanto, un aspecto práctico de importancia es la probabilidad de la ocurrencia de diversos categorías climáticos dados. El uso de conjuntos de datos de observación y re-análisis de la precipitación y temperatura cercano a la superficie de lago por efecto termoregulador, se analiza sistemáticamente en términos de tres categorías equiprobables (debajo de lo normal, casi normales,

por encima de lo normal) para cuantificar la probabilidad de ocurrencia con referencia son anormales (Davey, Brookshaw, Ineson, 2013), entonces las temperaturas presentan cambios en los patrones en el sistema climático.

4.1.2 Variación de las temperaturas medias por estación.

En la tabla 8, de estadísticos descriptivos de temperaturas máximas muestran valores más altos de desviación típica (0.89) en la estación climatológico de Cabanillas, seguido de Juliaca durante el periodo de 20 años desde 1994-2014, pero si se presentan valores mayores cuando de analizan desde 1966 hasta 2016.

Tabla 8

Variación en las temperaturas máximas por estación

| | N | Mínimo | Máximo | Media | Desv. típ. | Varianza |
|------------------------|----|--------|--------|-------|------------|----------|
| Juliaca | 20 | 15.60 | 18.10 | 16.81 | 0.72 | 0.52 |
| Cabanillas | 20 | 15.70 | 18.70 | 17.29 | 0.89 | 0.80 |
| Lampa | 20 | 15.60 | 18.30 | 17.03 | 0.71 | 0.50 |
| Capachica | 20 | 15.51 | 17.60 | 16.36 | 0.52 | 0.27 |
| Pampauta | 20 | 15.10 | 18.10 | 16.49 | 0.67 | 0.45 |
| N válido (según lista) | 20 | | | | | |

Además, se observó un aumento de la temperatura media anual de 0.05°C a lo largo del área de estudio, con tendencia de aumento en temperatura mensual en junio y en la primavera a lo largo de toda el área. Las tendencias más significativas observadas en la temperatura parecen ser consistentes entre las diferentes fuentes de datos (Chakraborty, *et al.* 2000).

Tabla 9

Variación en las temperaturas mínimas por estación

| | N | Mínimo | Máximo | Media | Desv. típ. | Varianza |
|------------------------|----|--------|--------|-------|------------|----------|
| Juliaca | 20 | 2.30 | 4.70 | 3.60 | 0.58 | 0.34 |
| Cabanillas | 20 | -2.10 | 3.60 | 2.15 | 1.17 | 1.38 |
| Lampa | 20 | 0.00 | 3.50 | 2.22 | 0.83 | 0.69 |
| Pampauta | 20 | -0.50 | 3.70 | 2.07 | 1.08 | 1.16 |
| Capachica | 20 | 1.94 | 4.70 | 3.05 | 0.82 | 0.66 |
| N válido (según lista) | 20 | | | | | |

En la tabla 9, de estadísticos descriptivos de temperaturas mínimas muestran valores más altos en la desviación típica de 1.17 en la estación climatológico

de Cabanillas, seguido de estación climatológico de Pampauta con 1.08 durante el periodo de 20 años desde 1994-2014, pero si se presentan valores mayores cuando de analizan desde 1966 hasta 2016.

4.1.3 Influencia del cambio climático sobre la variación de las temperaturas

Tabla 10
Modelo de variables predictores de temperaturas

| Modelo | R | R cuadrado | R cuadrado corregida | Error típ. de la estimación |
|--------|--------------------|------------|----------------------|-----------------------------|
| 1 | 0.650 ^a | 0.422 | 0.314 | 4.901 |

a. Variables predictores: (Constante), temperaturas medias, mínimas y máximas

Según el modelo de regresión lineal, los cambios en la temperatura se relacionan en un 42.2% con el cambio climático en los últimos 20 años hidrológicos para la cuenca del río Coata, presentando una correlación alta de 65%, ya que las temperaturas máximas, medias y mínimas presentan variaciones cuando hay mayores cambios en el clima en el ámbito de la cuenca Coata.

Tabla 11
Análisis de varianza (anovaa) del cambio climático y los variables del clima

| Modelo | Suma de cuadrados | Gl | Media cuadrática | F | Sig. |
|-----------|-------------------|----|------------------|-------|--------------------|
| 1 | | | | | |
| Regresión | 280.745 | 3 | 93.582 | 3.897 | 0.029 ^b |
| Residual | 384.255 | 16 | 24.016 | | |
| Total | 665.000 | 19 | | | |

a. Variable dependiente: Cambio climático

b. Variables predictoras: (Constante), temperaturas medias, mínimas y máxima

Según la prueba de hipótesis de la distribución F en el análisis ANOVA, podemos determinar que existe una influencia significativa de los cambios climáticos en las temperaturas de la cuenca del río Coata, para los últimos 20 años, ya que el valor de significancia es 0.029, dicho valor es menor de 0.05 del nivel de significancia, según las pruebas estadísticas del cuadro 11.

Con los resultados de la tabla 12 de los coeficientes independientes podemos establecer que existe mayor influencia del cambio climático en las temperaturas máximas de 0.047 que es menor al 0.05 en la cuenca del río Coata, seguido en las temperaturas medias, las influencias no es significativa o representativas en las temperaturas mínimas en el periodo de 20 años de 1994 a 2014.

Tabla 12
Análisis de Coeficientes a Independientes de temperaturas frente al cambio climático

| Modelo | Coeficientes no estandarizados | | Coeficientes tipificados | T | Sig. |
|--------------------|--------------------------------|------------|--------------------------|--------|-------|
| | B | Error típ. | Beta | | |
| (Constante) | -89.841 | 39.041 | | -2.302 | 0.034 |
| Temperatura Máxima | 34.573 | 16.396 | 3.038 | 2.101 | 0.047 |
| Temperatura Mínima | 22.052 | 16.403 | 1.605 | 1.345 | 0.188 |
| Temperatura Media | -55.334 | 33.081 | -3.790 | -1.674 | 0.051 |

a. Variable dependiente: Cambio climático

Existe una relación positiva alta entre el cambio climático y las temperaturas máximas igual a 0.476*, es decir a mayores temperaturas máximas en los años mayor será el cambio climático, mientras que existe una correlación negativa muy baja de -0.024 entre las temperaturas mínimas y el *cambio* climático, es decir a mayores temperaturas mínimas en los años menor serán el cambio climático la cuenca del río Coata, mientras que la relación entre las temperaturas medias y el cambio climático es positiva baja de 0.256 según table 13.

Tabla 13
Correlaciones bivariadas del cambio climático respect a las temperaturas

| | | Correlaciones | | | | |
|--------------------|------------------------|------------------|--------------------|--------------------|-------------------|--|
| | | Cambio climático | Temperatura Máxima | Temperatura Mínima | Temperatura Media | |
| Cambio climático | Correlación de Pearson | 1 | 0.476 * | -0.024 | 0.256 | |
| | Sig. (bilateral) | | 0.034 | 0.913 | 0.272 | |
| Temperatura Máxima | Correlación de Pearson | 0.475 * | 1 | 0.506 * | 0.890 ** | |
| | Sig. (bilateral) | 0.034 | | 0.023 | 0.000 | |
| Temperatura Mínima | Correlación de Pearson | -0.026 | 0.506 * | 1 | 0.836 ** | |
| | Sig. (bilateral) | 0.913 | 0.023 | | 0.000 | |
| Temperatura Media | Correlación de Pearson | 0.258 | 0.890 ** | 0.8 ** | 1 | |
| | Sig. (bilateral) | 0.272 | 0.000 | 0.000 | | |

*. La correlación es significativa al nivel 0.05 (bilateral).
 **. La correlación es significativa al nivel 0.01 (bilateral).

4.1.4 Modelos matemáticos para pronosticar las temperaturas máximas y mínimas para los próximos dieciséis años

Tabla 14
Coeficientes de las temperaturas máximas medias según el modelo lineal

| | Coeficientes no estandarizados | | Coeficientes estandarizados | T | Sig. |
|------------------|--------------------------------|--------------|-----------------------------|--------|-------|
| | B | Error típico | Beta | | |
| Cambio climático | 0.042 | 0.018 | 0.475 | 2.291 | 0.034 |
| (Constante) | 16.153 | 0.218 | | 74.007 | 0.000 |

4.1.5 Modelo lineal

$$Y = \alpha - \beta(t)$$

$$Y = 16.453 + 0.042(\text{año})$$

Tabla 15
Coeficientes del promedio de temperaturas máximas según el modelo logarítmico

| | Coeficientes no estandarizados | | Coeficientes estandarizados | T | Sig. |
|----------------------|--------------------------------|--------------|-----------------------------|--------|-------|
| | B | Error típico | Beta | | |
| ln(Cambio climático) | 0.305 | 0.132 | 0.477 | 2.301 | 0.034 |
| (Constante) | 15.946 | 0.299 | | 53.249 | 0.000 |

4.1.6 Modelo logarítmico

$$\log Y = \log_a + \log_b(t)$$

$$Y = 15.946 + \ln(0.305(\text{año}))$$

Tabla 16
Coficiente del promedio de temperaturas máximas según el modelo exponencial

| | Coficientes no estandarizados | | Coficientes estandarizados | T | Sig. |
|------------------|-------------------------------|--------------|----------------------------|--------|-------|
| | B | Error típico | Beta | | |
| Cambio climático | 0.003 | 0.001 | 0.480 | 2.319 | 0.032 |
| (Constante) | 16.149 | 0.211 | | 76.524 | 0.000 |

La variable dependiente es ln(Temperatura máxima).

4.1.7 Modelo exponencial:

$$- Y = a + e^{\beta x}$$

$$- Y = 16.149 + (e)^{0.003(\text{año})}$$

Las proyecciones del comportamiento del promedio de las temperaturas máximas presenta incrementos con los diferentes modelos de 0.071°C por año al 2030, estas pueden influir en los cambios de precipitación mediante la alteración de las propiedades termodinámicas de la masa de aire y por lo tanto el transporte de humedad a consecuencia del incremento de la temperatura, tal como confirman Zhang, Jianfeng, Singh P., Xiao, (2013) y el cambio climático indica un incremento de la temperatura ambiental, con variabilidad en el espacio y en el tiempo, el mayor impacto por incremento de la temperatura será en la agricultura.

Tabla 17
Coficiente del promedio de temperaturas mínimas según el modelo lineal

| | Coficientes no estandarizados | | Coficientes estandarizados | T | Sig. |
|-------------------------|-------------------------------|--------------|----------------------------|---------------|--------------|
| | B | Error típico | Beta | | |
| Cambio climático | -0.002 | 0.017 | -0.026 | -0.111 | 0.913 |
| (Constante) | 2.465 | 0.206 | | 11.980 | 0.000 |

4.1.8 Modelo lineal

$$Y = \alpha - \beta(t)$$

$$Y = 2.465 - 0.002(\text{año})$$

Tabla 18
 Coeficientes del promedio de temperaturas mínimas según el modelo logarítmico

| | Coeficientes no estandarizados | | Coeficientes estandarizados | T | Sig. |
|-----------------------------|--------------------------------|--------------|-----------------------------|--------------|--------------|
| | B | Erro r | Beta | | |
| ln(Cambio climático) | -0.030 | 0.125 | -0.056 | -0.236 | 0.816 |
| (Constante) | 2.508 | 0.282 | | 8.884 | 0.000 |

4.1.9 Modelo logarítmico

$$\bar{\log} Y = \log_a + \log_b(t)$$

$$Y = 2.508 - \ln(0.030(\text{año})).$$

Tabla 19
 Coeficientes del promedio de temperaturas mínimas según el modelo exponencial

| | Coeficientes no estandarizados | | Coeficientes estandarizados | T | Sig. |
|---------------------------|--------------------------------|--------------|-----------------------------|--------|--------------|
| | B | Error típico | Beta | | |
| Cambio (Constante) | 0.001 | 0.007 | -0.010 | - | 0.967 |
| | 2.416 | 0.210 | | 11.489 | 0.000 |

La variable dependiente es Temperatura Mínima.

4.1.10 Modelo exponencial:

$$Y = a + e^{\beta x}$$

$$Y = 2.416 + (e)^{0.001(\text{año})}$$

El promedio de las temperaturas mínimas proyectadas con diferentes modelos presenta variaciones en el tiempo un incremento de 0.017°C anual al 2030 en la cuenca, pero las temperaturas mínimas extremas presentan disminuciones de -2.76°C al 2030 en el tiempo y espacio, son estas las que vienen alterando el comportamiento del sistema climático, tal como manifiestan Zhang, Jianfeng,

Singh P., Xiao, (2013).

Los métodos estadísticos basados en regresiones predicen un mayor aumento en otoño e invierno de las temperaturas mínimas, tal como indican Chen, Brissette, Leconte, (2011). La magnitud del aumento en la temperatura mínima es mayor que en la temperatura máxima en algunas latitudes, pero en la cuenca Coata no es significativa, más bien son extremadamente irregulares en el espacio y el tiempo.

De acuerdo con los resultados de los modelos de temperatura media anual, el aire de la superficie crecerá a partir del valor actual de 10,4°C a 11,5°C en 2030-2050, y 13,2°C en 2070-2090. Esto tendrá un significativo impacto en las tasas de evaporación, sobre todo en primavera y verano, cuando el aumento de las temperaturas será más significativo según indican (Hahn, et al.,2012), y subirá la tasa de evaporación.

Con el cambio climático, se espera que en la cuenca cause aumento de las temperaturas y altere patrones de precipitación y eventos climáticos más frecuentes y extremos, tal como ratifican otros investigadores como (Reidsma, et al.,2014).

El incremento de la temperatura según tablas 7, 8 y 9 previsto en las temporadas de invierno y primavera afectará a los cambios de evaporación y precipitación, y en consecuencia la proporción nieve/precipitación y el volumen de agua almacenada en la capa arable de suelo, y una gran parte del ciclo hidrológico y esto ratifican (Chow, 1994).

4.2 Comportamiento de las precipitaciones pluviales

Antes de proceder a efectuar el modelamiento de las series de precipitaciones pluviales fue necesario efectuar el análisis de consistencia respectivo, a fin de obtener una serie consistente, homogénea y confiable; porque la inconsistencia puede generar error significativo e introduciendo errores en todos los análisis futuros que se realicen. El análisis de consistencia de la información meteorológica se realiza con tres métodos (gráfico, curva doble masa y estadístico) y software hydraccess agrupando las estaciones pluviométricas en tres grupos.

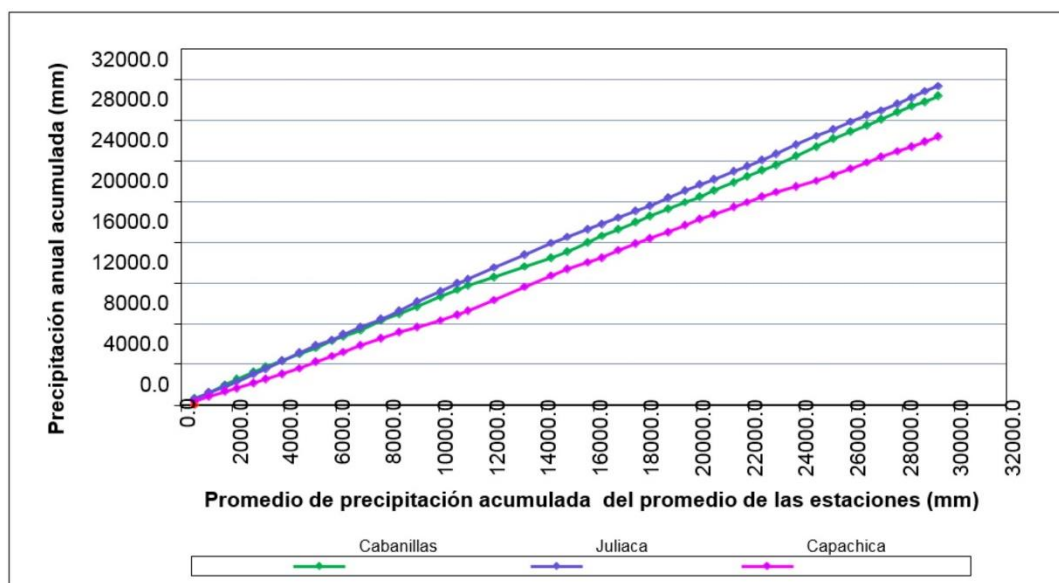


Figura 7. Diagrama de doble masa de las precipitaciones anuales respecto al promedio.

En la figura 7 muestra el análisis de doble masa, donde la estación cabanillas es una estación base seleccionada por presentar mayor regularidad, menor número de puntos de quiebre y el coeficiente de correlación (r) más próximo a la unidad (ver tabla 20). La comparación de la serie de precipitaciones anuales muestra pequeños quiebres y dichos quiebres fueron evaluadas con el análisis estadístico.

Tabla 20

Coefficiente de correlación (r) para cada estación – Cuenca Coata, 2016

| Coeficiente de correlación de la precipitación total anual | | | |
|--|------------|---------|-----------|
| Estaciones | Cabanillas | Juliaca | Capachica |
| Coeficiente (r) | 0.984 | 0.839 | 0.779 |

El análisis estadístico se realiza en forma mensual de cada una de las estaciones, mediante la prueba T para las medias y F para la desviación estándar dividiendo en dos sub series las precipitaciones mensuales de las estaciones seleccionadas. Las pruebas de hipótesis se hacen al nivel de significancia de 5% y una probabilidad de 95%.

Tabla 21

Análisis de saltos de las precipitaciones mensuales, 2016.

| Estación | Periodo | Periodo de análisis | N° de datos | Promedio | Desviación estándar | Consistencia en la media | | | Consistencia en la desviación estándar | | Diferencia varianzas |
|------------|---------|---------------------|-------------|----------|---------------------|--------------------------|-------|-------------------|--|-------|----------------------|
| | | | | | | Tc | Tt | Diferencia medias | Fc | Ft | |
| Juliaca | N1 | 1966- | 348 | 64.19 | 65.43 | 0.801 | 1.976 | No | 1.065 | 1.246 | No |
| | N2 | 1995- | 149 | 59.18 | 63.43 | | | | | | |
| Cabanillas | N1 | 1966- | 264 | 62.69 | 65.21 | 1.767 | 1.986 | No | 1.301 | 1.235 | Si |
| | N2 | 1988- | 348 | 54.21 | 53.11 | | | | | | |
| Capachica | N1 | 1966- | 264 | 51.43 | 59.12 | 0.631 | 1.986 | No | 1.370 | 1.235 | Si |
| | N2 | 1988- | 348 | 37.98 | 51.03 | | | | | | |

Las pruebas estadísticas muestran en la tabla 21 que no existe diferencia significativa entre las medias de los periodos de análisis de las series históricas de precipitaciones pluviales en los tres grupos analizados de estaciones seleccionadas de la cuenca Coata, puesto que $c \leq F$. En cuanto a varianzas existe una diferencia significativa en la estación Cabanillas lo que significa que hay variabilidad en las sub series de precipitación total mensual, porque $c > F$. Este cambio de la varianza se atribuye a cambios climáticos regionales, porque el análisis de doble masa no evidencia mayores quiebres, por lo tanto, se consideran consistentes y homogéneos los datos de las series históricas de las precipitaciones pluviales.

El proceso de completación de información pluviométrica se realiza mediante correlación múltiple cruzada entre los datos de precipitación mensual de las estaciones consistentes y para cada periodo, buscando el coeficiente de correlación más adecuado mediante el software hydraccess. Dichos hidrogramas resultantes de la completación y extensión de las series anuales se muestran en los anexos.

Por otro lado, para la serie histórico de 1966-2016, no se ve tendencia marcada o evidente. En la estación Capachica en el mes de mayo, junio y julio las precipitaciones pluviales tienden a aumentar y a nivel anual para las tres estaciones su comportamiento es estable, es decir no presenta cambios significativos en la precipitación.

Además, para la serie histórico 1966-2016, no se ve tendencia evidente. En las estaciones de Capachica y Juliaca en el mes de setiembre las precipitaciones tienden a disminuir, para Cabanillas en mes de octubre tiende a incrementar y para enero, marzo y abril tienden a incrementar en Cabanillas y Juliaca. A nivel anual el comportamiento de las precipitaciones es estable, es decir no presenta cambios significativos.

Los resultados de los test estadísticos paramétricos y no paramétricos en los cuadros y los gráficos de los gradientes para cada estación.

En el verano ha cambiado la precipitación (en cantidad y frecuencia), este cambio no sólo depende de un cambio en la circulación atmosférica, sino también del aumento de la temperatura, y las investigaciones sobre el impacto del cambio climático. Precipitaciones mensuales muestran disminución, pero estas tendencias no son significativas en las precipitaciones observadas, tal como afirman (Galindo, 2009).

Tabla 22
Resumen del modelo de regresión lineal de precipitación, cuenca Coata, 1994-2016

| Modelo | R | R cuadrado | R cuadrado corregida | Error típ. de la estimación |
|--------|--------------------|------------|----------------------|-----------------------------|
| 1 | 0.731 ^a | 0.534 | -0.231 | 6.001 |

a. Variables predictoras: (Constante), precipitación máximas de 24 horas, días de precipitación, precipitación Total

Según el modelo de regresión lineal, la relación no es significativa, pero podemos determinar que los cambios en las precipitaciones pluviales se relacionan en solo un 53.4% con el cambio climático en los últimos 20 para la cuenca del río Coata.

Tabla 23
Anova de las precipitaciones pluviales, cuenca Coata, 1994- 2014.

| Modelo | Suma de cuadrados | Gl | Media cuadrática | F | Sig. |
|--------------|-------------------|-----------|------------------|-------|---------------------|
| Regresión | 88.70 | 3 | 29.57 | 0.822 | 0.0401 ^b |
| 1 Residual | 576.30 | 16 | 36.02 | | |
| Total | 665.00 | 19 | | | |

a.- variable dependiente: Cambio Climático

b.- Variables predictoras (constants) ,presipitación maxima en 24 horas, dias de precipitacion, precipitación total

Según la prueba de hipótesis de la distribución F del análisis ANOVA, podemos determinar que no existe una influencia significativa de los cambios climáticos en las precipitaciones pluviales de la cuenca Coata, porque $c \leq F(2.24)$, para los años de 1994 al 2014, pero contrariamente se afirma en base al valor de la significancia igual a $0.0401 = 4.01\%$ es menor a un error del $0.05 = 5\%$.

Tabla 24
Análisis de coeficientes independientes, según prueba t

| Modelo | Coeficientes no estandarizados | | Coeficiente s tipificados | T | Sig. |
|-------------------------------------|--------------------------------|-------------|---------------------------|---------------|--------------|
| | B | | | | |
| (Constante) | 3.85 | 26.89 | | 0.144 | 0.889 |
| Precipitación Total | -0.19 | 0.28 | -0.38 | -0.683 | 0.053 |
| 1 Días de precipitación | 2.44 | 2.50 | 0.43 | 0.977 | 0.033 |
| Precipitación máxima de 24 h | -0.57 | 1.08 | -0.19 | -0.530 | 0.063 |

Con los resultados de los coeficientes independientes del cuadro 24, podemos establecer que no existe influencia significativa del cambio climático en las recipitaciones pluviales en la cuenca porque la $c \leq (2.093)$, además la precipitación total y precipitación

máxima de 24 horas tienen relación inversas.

Es decir, a mayor variación del clima menor serán las precipitaciones pluviales y las máximas de 24 horas.

Cambios en las precipitaciones pueden tener un impacto ya sea positivo o negativo estos pueden ser muy dependientes de los tipos de circulación atmosférica, tal como afirman Goldberg, Radley M. Horton y Rosenzweig, (2013). Los resultados están influenciados por el aumento de la temperatura que podrían cambiar la tasa de evapotranspiración y la forma de precipitación y posteriormente patrones de caudales mensuales.

Tabla 25
Correlaciones bivariadas del cambio climático con las variaciones de las precipitaciones pluviales en la cuenca del Río Coata, 1994-2014

| | | Cambio Climático | Precipitación Total | Días de precipitación | Precipitación máxima de 24 horas |
|---|------------------------|------------------|---------------------|-----------------------|----------------------------------|
| Cambio climático | Correlación de Pearson | 1 | -0.160 | 0.049 | -0.282 |
| | Sig. (bilateral) | | 0.501 | 0.839 | 0.228 |
| | N | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Precipitación total | Correlación de Pearson | -0.160 | 1 | 0.811** | 0.686** |
| | Sig. (bilateral) | 0.501 | | 0.000 | 0.001 |
| | N | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Días de precipitación | Correlación de Pearson | 0.049 | ** | 1 | 0.382 |
| | Sig. (bilateral) | 0.839 | 0.000 | | 0.097 |
| | N | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Precipitación máxima de 24 horas | Correlación de Pearson | -0.282 | ** | 0.382 | 1 |
| | Sig. (bilateral) | 0.228 | 0 | 0.097 | |
| | N | 20 | 20 | 20 | 20 |

** La correlación es significativa al nivel 0.01 (bilateral).

La correlación es significativa al nivel de 0.01 (bilateral)

Según los resultados obtenidos en la Tabla 25 no existen relaciones significativas bivariadas entre el cambio climático y los factores de precipitación, pero podemos decir que existe una relación negativa muy baja entre el cambio climático y la precipitación total de -0.160, lo que indica que a mayor tiempo y cambios en el clima, menor es la

precipitación total que se presentan en la cuenca Coata, dicho comportamiento también ocurre con las precipitaciones máximas de 24 horas.

Tabla 26
Coefficientes de precipitación total según el modelo lineal

| | Modelo | Coeficientes no estandarizados | | Coeficientes tipificados | T | Sig. |
|---|------------------|--------------------------------|------------|--------------------------|--------|--------------|
| | | B | Error típ. | Beta | | |
| 1 | (Constante) | 89.154 | 5.481 | | 16.266 | 0.000 |
| | Cambio Climático | -0.314 | 0.458 | -0.160 | -0.686 | 0.501 |

a. Variable dependiente: Precipitación total

4.2.1 Modelo lineal:

$$Y = 89.154 - 0.314(\text{año})$$

Tabla 27
Coefficientes de precipitación total según el modelo logarítmico

| | Coeficientes no estandarizados | | Coeficientes estandarizados | T | Sig. |
|----------------------|--------------------------------|--------------|-----------------------------|---------------|--------------|
| | B | Error típico | Beta | | |
| ln(Cambio Climático) | -1.881 | 3.345 | -0.131 | -0.562 | 0.581 |
| (Constante) | 89.840 | 7.560 | | 11.884 | 0.000 |

4.2.2 Modelo logarítmico

$$\log Y = \log_a + \log_b(t)$$

$$Y = 89.840 - \ln(1.881(\text{año}))$$

Tabla 28
Coefficientes de precipitación total según el modelo exponencial

| | Coeficientes no estandarizados | | Coeficientes estandarizados | T | Sig. |
|------------------|--------------------------------|--------------|-----------------------------|--------|--------------|
| | B | Error típico | Beta | | |
| Cambio climático | -0.004 | 0.005 | -0.163 | -0.699 | 0.493 |
| (Constante) | 88.428 | 5.454 | | 16.212 | 0.000 |

La variable dependiente es ln (Precipitación total).

4.2.3 Modelo exponencial

$$Y = a + e^{\beta x}$$

$$Y = 88.428 - (e)^{0.004(\text{año})}$$

La precipitación no sigue una tendencia significativa clara y que todos los escenarios sugieren un moderado descenso de las precipitaciones para mediados de siglo (2 a 4%) y para el final del siglo (4.5 a 5.5%), esto corrobora Ribalaygua, *et al.* (2013). Las proyecciones presentadas en el presente trabajo exhiben una mayor incertidumbre, pero cuando se trabaja en función a los datos completos de la serie histórica presenta tendencias claras.

Así mismo, el potencial de desplazamiento temporal de los eventos extremos de precipitación, junto con el aumento de la intensidad global puede exacerbar la magnitud de las crecidas y dar lugar a un aumento de las cargas de sedimentos y sustentos al río (Darwin, 1999)

También, los cambios en las precipitaciones extremas son relativamente pequeños, y sólo las tendencias regionales en días húmedos consecutivos fueron significativas. Estas tendencias son difíciles de detectar y en contra de la variabilidad a escala más grande de la precipitación. La distribución espacial de los cambios de todos los índices extremos climáticos refleja la complejidad general climática y la influencia de la topografía (Xu, 2009). Además, si se continúa, estas tendencias pueden conducir a un aumento en la frecuencia de otro tipo potencialmente peligroso de los fenómenos extremos: períodos prolongados sin precipitaciones que causan daños a la infraestructura real y daño a la vida humana.

4.3 Rendimiento de los cultivos frente a los comportamientos climáticos

4.3.1 Medidas de tendencia central y variabilidad de rendimiento de los cultivos

Las variables climáticas para cultivos seleccionados influyen de distinta intensidad, para cultivo de haba las temperaturas óptimas oscila entre 11.5 a 16°C durante su fase fenológico, temperaturas constantes superiores a 23°C, así como una fluctuación térmica diaria con temperaturas diurnas superiores a 20°C y temperaturas nocturnas debajo de 10°C, pueden inhibir la floración (Evans, citado por Summerfield y Roberts, 1985). El cultivo de papa es más sensible a

heladas, crece y produce bien con temperaturas fresca principalmente de noche favorece a la formación de tubérculos, para el crecimiento vegetativo es bueno entre 20-25°C, y la temperatura óptima para la producción de tubérculos está entre 18-20°C, mientras que las temperaturas altas de 28-30°C impiden el crecimiento de los tubérculos al gastar la planta en respiración toda la producción de la fotosíntesis, de referencia tabla 29.

Tabla 29
Medidas de tendencia central y variación del rendimiento de los cultivos

| | Mínimo | Máximo | Media | Desv. típ. | Varianza |
|--------|---------|----------|-----------|------------|-------------|
| Haba | 838.39 | 1215.83 | 1029.0780 | 112.07095 | 12559.898 |
| Papa | 5799.46 | 10287.98 | 8430.2745 | 1531.66743 | 2346005.119 |
| Quinua | 766.74 | 1970.78 | 1000.7055 | 259.08518 | 67125.129 |

Fuente: Ministerio de Agricultura y SENAMHI, 2015.

Finalmente, la temperatura media para el cultivo de la quinua es de alrededor de 15-20°C, sin embargo, se ha observado que con temperaturas medias de 10°C se desarrolla perfectamente el cultivo, así como con temperaturas altas de hasta 25°C, dicho cultivo posee un mecanismo de escape y tolerancia a bajas temperaturas, puede soportar hasta menos de 8°C en determinadas etapas fenológicas, siendo la más tolerante la ramificación y las más susceptibles la floración y llenado de grano. Respecto a temperaturas extremas altas por encima de 38°C, se ha observado que produce aborto de flores y muerte de estimas y estambres, imposibilitando así la formación de polen y por lo tanto la formación de grano, (FAO, 1994).

4.3.2 Rendimiento promedio del cultivo de haba frente a las variables climáticas

Tabla 30
Resumen del modelo de relación entre cultivo y clima

| Modelo | R | R cuadrado | R cuadrado corregida | Error típ. de la estimación |
|--------|--------------------|------------|----------------------|-----------------------------|
| 1 | 0.694 ^a | 0.482 | 0.215 | 105.40396 |

a. Variables predictoras: (Constante), temperatura mínima, días de precipitación, temperatura máxima, precipitación total

Según el modelo la relación es significativamente alta, donde se tiene un R cuadrado de 0.482, lo que significa que un aproximado del 48.2% de los

cambios en el rendimiento del cultivo de haba grano seco son a consecuencia de los cambios de las temperaturas y precipitaciones pluviales en los últimos 20 años para la cuenca del río Coata, puesto que el altiplano peruano es considerado una de las zonas más sensibles y perturbadas por la variabilidad climática con implicancias en las actividades del sector agropecuario (Sanabria *et. Al.*, 2010).

Tabla 31
Anova^a de la regresión residual total para el cultivo de haba

| Modelo | Suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | R | F | Sig. |
|----------------|-------------------|----|------------------|--------------------|-------|--------------------------|
| Regresión | 71988.123 | 4 | 17997.031 | 0,694 ^b | 1.620 | 0,042^b |
| Residual | 166649.935 | 15 | 11109.996 | | | |
| 1 Total | 238638.058 | 19 | | | | |

a. Variable dependiente: Haba

b. Variables predictoras: (Constante), temperatura mínima, días de precipitación, Temperatura máxima, Precipitación Total

Según la prueba de hipótesis de la distribución F con el análisis ANOVA del cuadro 31, determina que no existe una influencia significativa de los cambios de las temperaturas y precipitaciones pluviales en el rendimiento del cultivo de la haba grano seco de la cuenca para los años de 1992 al 2012, puesto el valor de $c \leq F(2.24)$ esto indica que no hay variación estadísticamente, pero el valor de significancia es igual a $0.042 = 4.2\%$ que es menor a un error del $0.05 = 5\%$, puesto que se requiere una precipitación pluvial promedio 800 mm y las temperaturas óptimas durante su ciclo vegetativo esta entre $11.5-16^{\circ}\text{C}$ y superiores a 20°C pueden inhibir la floración, por ende la disminución en el rendimiento del cultivo de haba (FAO, 1994).

Tabla 32
Coefficientes no estandarizadas y tipificadas de las variables climáticas

| Modelo | Coeficientes no estandarizados | | Coeficientes tipificados | T | Sig. |
|-----------------------------|--------------------------------|------------|--------------------------|------------|--------------|
| | B | Error típ. | Beta | | |
| (Constante) | -1971.844 | 1328.334 | | - 1.484 | 0.158 |
| Precipitación Total | -0.041 | 3.902 | -0.004 | 0.011 | 0.092 |
| Días de precipitación | 71.701 | 40.345 | 0.662 | 1.777 | 0.045 |
| Temperatura máxima | 138.412 | 72.697 | 0.642 | 1.904 | 0.036 |
| 1 Temperatura mínima | -118.153 | 80.453 | -0.455 | - 1.469 | 0.163 |

a. Variable dependiente: Haba

Con los resultados de los coeficientes independientes del cuadro 32, establece que existe influencia inversa a un 4% de error del cambio en las temperaturas máximas y los días de precipitación en el rendimiento del cultivo de la haba grano seco, para los años de 1992 al 2012, porque ninguna de las variables climáticas estadísticamente son significativas $c \leq (2.093)$, ya que la oscilación de temperaturas extremas viene superando los 20°C durante el día y de noche por debajo de los 10°C, y del mismo modo los días de precipitación es importante para que sean un ambiente fresca (FAO, 2002).

Tabla 33
Correlaciones bivariadas del cultivo de haba con las variaciones climáticas en la cuenca del río Coata, 1994-2014

| | | Haba grano seco | Precipitación Total | Días de precipitación | Temperatura máxima | Temperatura mínima |
|------------------------------|------------------------|------------------------|---------------------|------------------------|--------------------|--------------------|
| Haba grano seco | Correlación de Pearson | 1 | 0.146 | 0.312 | 0.139 | -0.014 |
| | Sig. (bilateral) | | 0.539 | 0.180 | 0.560 | 0.952 |
| Precipitación Total | Correlación de Pearson | 0.146 | 1.0811 | ** | -0.438 | 0.233 |
| | Sig. (bilateral) | 0.539 | | 0.000 | 0.053 | 0.324 |
| Días de precipitación | Correlación de Pearson | 0.312 ^{0.811} | ** | 1 | -0.415 | 0.176 |
| | Sig. (bilateral) | 0.180 | 0.000 | | 0.069 | 0.458 |
| Temperatura máxima | Correlación de Pearson | 0.139 | -0.438 | -0.415 | 1 | 0.506* |
| | Sig. (bilateral) | 0.560 | 0.053 | 0.069 | | 0.023 |
| Temperatura mínima | Correlación de Pearson | -0.014 | 0.233 | 0.176 ^{0.506} | * | 1 |
| | Sig. (bilateral) | 0.952 | 0.324 | 0.458 | 0.023 | |

** La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

* La correlación es significante al nivel 0,05 (bilateral).

Según tabla 33, de los resultados obtenidos existen relaciones significativas bivariadas bajas entre la variación de las temperaturas, precipitaciones pluviales y el rendimiento del cultivo de la haba grano seco de la cuenca, durante los años 1994-2014, pero las temperaturas mínimas afectan negativamente en el rendimiento de los cultivos de haba (Abraha, et al., 2006).

Que, a mayor incremento de la precipitación pluvial incrementa el rendimiento del cultivo de haba grano seco, proyectadas mediante tres modelos (lineal, logarítmica y exponencial), pero presentan cierta disminución del periodo de crecimiento debido al aumento de la temperatura, la migración de los humedales, siguiendo los cambios en la precipitación (IPCC, 2002). En el caso de actividades socioeconómicas ejemplos de adaptaciones reactivas serían cambios en las prácticas agrícolas o en el patrón de uso del agua.

En la agricultura en el ámbito de estudio presentan reducción de daños por heladas, aumento de peligros por calor en algunos cultivos y animales; disminución de la amplitud térmica diaria; aumento en la demanda de riego; mayor frecuencia de ataques de insectos. Modificar los calendarios de labores; cambiar la proporción de animales en pastizales; adoptar y desarrollar nuevas variedades resistentes; y establecer programas para seguridad alimentaria.

El mayor impacto por incremento de la temperatura será en la reducción del ciclo fenológico de los cultivos anuales. Por tanto, es necesario implantar acciones de adaptación: en primer lugar, el uso de híbridos o variedades de ciclo más largo que las actuales, con resistencia al estrés térmico, y en segundo lugar, la compactación del periodo de siembra hacia los meses más fríos (Ojeda-Bustamante, 2011).

Cuando aumenta la temperatura generalmente reducen la producción en todos los escenarios. Cambios en las precipitaciones pueden tener impacto ya sea positivo o negativo, con un alto grado de incertidumbre a través de los modelos climáticos globales (Abraha, et al., 2013).

4.3.3 Rendimiento promedio del cultivo de la papa frente a las variables climáticas

Tabla 34
Resumen del modelo del rendimiento de papa y variables climáticas

| Modelo | R | R cuadrado | R cuadrado corregida | Error típ. de la estimación |
|--------|--------------------|------------|----------------------|-----------------------------|
| 1 | 0.839 ^a | 0.704 | 0.599 | 1084.62201 |

a. Variables predictoras: (Constante), temperaturas mínimas, días de precipitación, temperaturas máximas, precipitación total

Según Tabla 34, la relación es altamente significativa, de donde tenemos un R cuadrado de 0.704, lo que significa que un aproximado del 70.4% de los cambios en el rendimiento del cultivo de la papa son a consecuencia de los cambios de las temperaturas y precipitaciones pluviales en los últimos 20 periodos en la cuenca.

Tabla 35
Anova de la regresión residual total para el cultivo de papa, Cuenca Coata, 1994-2014

| Modelo | Suma de cuadrado | Gl | Media cuadrática | F | Sig. |
|----------|------------------|----|------------------|-------|--------------------|
| 1 | 26928023.736 | 4 | 6732005.934 | 5.723 | 0.005 ^b |
| Residual | 17646073.520 | 15 | 1176404.901 | | |
| Total | 44574097.256 | 19 | | | |

a. Variable dependiente: Papa
b. Variables predictoras: (Constante), temperatura mínima, días de precipitación, temperatura máxima, precipitación Total

Según la prueba de hipótesis de la distribución F con el análisis ANOVA la $c > F(2.24)$, esto determina que existe una influencia significativa de los cambios de las temperaturas y precipitaciones pluviales en el rendimiento del cultivo de la papa en la cuenca del río Coata, durante los años de 1994 al 2014, porque tenemos un valor de significancia igual a $0.005 = 0.5\%$ mucho menor a un error del $0.05 = 5\%$ y tal como se muestran en la tabla 35.

Tabla 36
Coefficientes no estandarizados y tipificados de variables climáticas

| Modelo | Coeficientes no estandarizados | | Coeficiente tipificados | T | Sig. |
|-----------------------|--------------------------------|------------|-------------------------|--------|--------------|
| | B | Error típ. | Beta | | |
| (Constante) | - 52067.583 | 13668.753 | | -3.809 | 0.002 |
| Precipitación Total | -15.025 | 40.156 | -0.114 | -0.374 | 0.714 |
| Días de precipitación | 1313.763 | 415.161 | 0.888 | 3.164 | 0.006 |
| Temperatura máxima | 2977.397 | 748.062 | 1.010 | 3.980 | 0.001 |
| Temperatura mínima | -2403.648 | 827.873 | -0.677 | -2.903 | 0.011 |

a. Variable dependiente: Papa

Con los resultados de los coeficientes independientes podemos establecer que existe una influencia altamente significativa de las temperaturas máximas en rendimiento del cultivo de la papa, siendo su valor de significancia igual a 0.001, mientras que los días de precipitación también tienen una influencia altamente significativa (sig. = 0.006) en el rendimiento del cultivo de la papa así como las temperaturas mínimas influye negativamente de manera significativa (sig. = 0.011) en el rendimiento del cultivo de la papa de la cuenca del río Coata, para los años de 1994 al 2014, mientras que la precipitación total no tiene influencia significativa, pero influye negativamente según el cuadro 36. Además $t > (2.093)$ en todas las variables climáticas, con excepción de la precipitación total ($t \leq (2.093)$).

La reducción de rendimiento de los cultivos relativa se estimó a partir de un factor de estrés del agua, que es una función del contenido de humedad del suelo. Contenido medio de humedad del suelo para el ámbito de estudio se determinó por medio de un enfoque de balance del agua simple. Y la reducción media del rendimiento de los cultivos en relación a 20 años para todos los escenarios se redujo por el descenso irregular de las precipitaciones, (Hahn, et al., 2009).

Los impactos del cambio climático sobre la agricultura podrían posiblemente ser más importante para los países en desarrollo en las

regiones tropicales: sus poblaciones dependen básicamente de la agricultura de subsistencia y recursos dependientes el clima, la pobreza limita su capacidad de anticipación y adaptación al cambio climático y actualmente en él se plantea un serio desafío a seguridad alimentaria por el crecimiento de la población en esas regiones. Las actuales proyecciones de los impactos del cambio climático sobre el rendimiento de los cultivos tropicales, a pesar de que el promedio negativo, siguen en gran medida incierto: Hace falta, en gran escala, las evaluaciones cuantitativas más consistentes, (Hahn,et al., 2009).

La disminución del rendimiento se relaciona linealmente con el acortamiento del período de crecimiento causado por el aumento de la temperatura y descenso de las precipitaciones pluviales, y esto reconoce (Hahn,2009).

Tabla 37
Correlaciones bivariadas del cultivo de papa con las variaciones climáticas en la cuenca del Rio Coata, 1994-2014.

| | | Papa | Precipitación Total | Días de precipitación | Temperatura máxima | Temperatura mínima |
|------------------------------|------------------------|-------|---------------------|-----------------------|--------------------|--------------------|
| Papa | Correlación de Pearson | 1 | 0.006 | 0.257 | 0.349 | -0.036 |
| | Sig. (bilateral) | | 0.979 | 0.275 | 0.131 | 0.880 |
| Precipitación Total | Correlación de Pearson | 0.006 | 1 | 0.811** | -0.438 | 0.233 |
| | Sig. (bilateral) | 0.979 | | 0.000 | 0.053 | 0.324 |
| Días de precipitación | Correlación de Pearson | 0.257 | 0.811** | 1 | -0.415 | 0.176 |
| | Sig. (bilateral) | 0.275 | 0.000 | | 0.069 | 0.458 |
| Temperatura máxima | Correlación de Pearson | 0.349 | -0.438 | -0.415 | 1 | 0.506* |
| | Sig. (bilateral) | 0.131 | 0.053 | 0.069 | | 0.023 |
| Temperatura mínima | Correlación de Pearson | 0.036 | 0.233 | 0.176 | 0.506* | 1 |
| | Sig. (bilateral) | 0.880 | 0.324 | 0.458 | 0.023 | |

** . La correlación es significativa al nivel 0.01 (bilateral).

*. La correlación es significante al nivel 0.05 (bilateral).

Según Tabla 37, de los resultados obtenidos, podemos decir que las temperaturas mínimas influyen negativamente en el cultivo de la papa, es decir, a temperaturas más bajas menor es el rendimiento de la papa, puesto es más sensible a las temperaturas bajas. Mientras que las temperaturas máximas, precipitación total y días de precipitación se relacionan de manera positiva con el rendimiento de la papa en la Cuenca Coata, pero no son significativos.

Los principales impactos del cambio climático estarán en los cultivos de secano, que representan casi el 60% de la superficie de tierras de cultivo, y estas serán altamente vulnerables al cambio climático. La producción de cultivos se puede aumentar mediante el uso de semillas de calidad, de variedades de alto rendimiento y resistentes al estrés, combinado con el uso juicioso de los insumos, en particular el agua y los nutrientes. Los cambios climáticos afectan a las cuatro dimensiones de la seguridad alimentaria, es decir, la disponibilidad, el acceso a los alimentos, la estabilidad de los suministros de alimentos y utilización de los alimentos, (Singh, *et al.* 2013).

4.3.4 Rendimiento promedio del cultivo de quinua frente a las variables climáticas.

Tabla 38
Modelo de la relación del rendimiento de quinua y variables climáticas, Cuenca Coata, 1994-2014

| Modelo | R | R cuadrado | R cuadrado corregida | Error típ. de la estimación |
|--------|--------------------|------------|----------------------|-----------------------------|
| 1 | 0.815 ^a | 0.664 | 0.575 | 168.95366 |

a. Variables predictoras: (Constante), temperatura mínima, días de precipitación, temperatura máxima, precipitación total

Según el modelo de la tabla 38, la relación es altamente significativa, de donde tenemos un R cuadrado de 0.664, lo que significa que un aproximado del 66.4% de los cambios en el rendimiento del cultivo de la quinua son a consecuencia de los cambios de las temperaturas y precipitaciones pluviales en los últimos 20 años en la cuenca Coata.

Tabla 39
Análisis de anovaa de regresión residual total para el cultivo de quinua

| Modelo | Suma de cuadrados | Gl | Media cuadrática | F | Sig. | |
|--------|-------------------|------------|------------------|------------|-------|--------------------------|
| 1 | Regresión | 847197.365 | 4 | 211799.341 | 7.420 | 0.002^b |
| | Residual | 428180.088 | 15 | 28545.339 | | |
| | Total | 1275377.45 | 19 | | | |
| | | 3 | | | | |

a. Variable dependiente: Quinua

b. Variables predictoras: (Constante), temperatura mínima, días de precipitación, temperatura máxima, precipitación total

Según la prueba de hipótesis de la distribución F con el análisis ANOVA el $c > F$ (2.24), podemos establecer que existe una influencia significativa de los cambios de las temperaturas y precipitaciones pluviales en el rendimiento del cultivo de la quinua en el ámbito de estudio, para los años de 1994 al 2014, porque se tiene un valor de significancia igual a $0.002 = 0.2\%$ que es mucho menor a un error del $0.05 = 5\%$.

Tabla 40
Coficientes no estandarizadas y tipificadas de variables climáticas, Cuenca Coata, 1994-2014

| Modelo | Coeficientes no estandarizados | | Coeficiente s tipificados | T | Sig. | |
|-------------|--------------------------------|------------|---------------------------|--------|--------------|--------------|
| | B | Error típ. | Beta | | | |
| (Constante) | 7948.622 | 2129.208 | | -3.733 | 0.002 | |
| 1 | Precipitación Total | 22.193 | 6.255 | 0.997 | 3.548 | 0.003 |
| | Días de precipitación | -72.179 | 64.670 | -0.288 | -1.116 | 0.282 |
| | Temperatura máxima | 571.367 | 116.527 | 1.146 | 4.903 | 0.000 |
| | Temperatura mínima | -585.722 | 128.959 | -0.975 | -4.542 | 0.000 |

a. Variable dependiente: Quinua

Con los resultados de los coeficientes independientes podemos establecer que existe una influencia altamente significativa cuando $c > (2.093)$, ya que la precipitación total (sig. = 0.003), las temperaturas máximas (sig. = 0.000) y las temperaturas mínimas (sig. = 0.000) tienen una fuerte influencia en el rendimiento del cultivo de la quinua en la cuenca Coata, para los años de 1994 al 2014, mientras que los días de precipitación no tienen influencia porque la $c \leq (2.093)$.

El cambio climático indica un incremento de la temperatura ambiental, con variabilidad en el espacio y en el tiempo, el mayor impacto por incremento de la temperatura será en la reducción del ciclo fenológico de los cultivos anuales. Por tanto, es necesario implantar acciones de adaptación: en primer lugar el uso de híbridos o variedades de ciclo más largo que las actuales, con resistencia al estrés térmico, y en segundo lugar, la compactación del periodo de siembra hacia los meses más fríos.

Tabla 41
Correlaciones bivariadas del cambio climático con las variaciones de las precipitaciones pluviales Cuenca Coata, 1994-2014

| | | Quinua | Precipitación Total | Días de precipitación | Temperatura máxima | Temperatura mínima |
|------------------------------|------------------------|--------|---------------------|-----------------------|--------------------|--------------------|
| Quinua | Correlación de Pearson | 1 | 0.034 | -0.128 | 0.336 | -0.214 |
| | Sig. (bilateral) | | 0.888 | 0.592 | 0.148 | 0.364 |
| Precipitación Total | Correlación de Pearson | 0.034 | 1 | 0.811** | -0.438 | 0.233 |
| | Sig. (bilateral) | 0.888 | 0.811 | 0.000 | 0.053 | 0.324 |
| Días de precipitación | Correlación de Pearson | -0.128 | ** | 1 | -0.415 | 0.176 |
| | Sig. (bilateral) | 0.592 | 0.000 | | 0.069 | 0.458 |
| Temperatura máxima | Correlación de Pearson | 0.336 | -0.438 | -0.415 | 1 | 0.506* |
| | Sig. (bilateral) | 0.148 | 0.053 | 0.069 | 0.506 | 0.023 |
| Temperatura mínima | Correlación de Pearson | -0.214 | 0.233 | 0.176 | * | 1 |
| | Sig. (bilateral) | 0.364 | 0.324 | 0.458 | 0.023 | |

** . La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

* . La correlación es significante al nivel 0,05 (bilateral).

Según tabla 41, los días de precipitación y las temperaturas mínimas influyen negativamente en el cultivo de la quinua, es decir a mayores temperaturas mínimas menor es el rendimiento de la quinua. Mientras que las temperaturas máximas y precipitación total se relacionan de manera positiva con el

rendimiento de la quinua en la cuenca Coata.

Encontramos que el clima había cambiado significativamente en estas últimas décadas. Por ejemplo, los cambios en la temperatura, las precipitaciones y la radiación solar en las últimas tres décadas incrementó en conjunto el rendimiento de trigo en el norte de China por 0,9 a 12,9%, sin embargo, la reducción de trigo permite en el sur de China en 1.2 a 10.2%, con una gran diferencia espacial (Tang, *et al.* 2010).

La elevada temperatura afecta el rendimiento y las características de calidad del grano más importante que los cambios en las precipitaciones. Los cambios climáticos proyectados muy probablemente afectarán las características de calidad del grano de interés para los diferentes mercados y las necesidades de utilización, (Tang, *et al.*, 2010).

Así mismo, que el calentamiento global puede potencialmente reducir el período de crecimiento del cultivo, se espera que la producción y la productividad de todos los cultivos de variedades diferentes para disminuir necesidades de agua más altas debido a una menor precipitación y la temperatura alta muy superior (Tang, *et al.*, 2010).

Sistemas de producción agropecuaria de secano están sufriendo de una baja productividad. Los periodos secos prolongados y sequías a menudo conducen a pérdidas de cosechas, situación que se espera que sea exacerbada por el cambio climático. Como las prácticas de gestión agrícola mejoradas en sistemas de secano son cruciales para aumentar la productividad agrícola, el impacto de la fecha de siembra se debería analizar en detalle. Un cambio en las condiciones climáticas debido al calentamiento global reducirá el ciclo de crecimiento y, por lo tanto, los rendimientos de los cultivos, (Tang, *et al.*, 2010).

CONCLUSIONES

- La tendencia en temperaturas máximas presenta cambios significativos a nivel anual para los periodos analizados en cada estación de la cuenca Coata de 47 años con incremento promedio de $0.03^{\circ}\text{C}/\text{año}$, en las estaciones: Cabanillas, Capachica, Juliaca, Pampauta y Lampa, muestran tendencias positivas a nivel anual con un nivel de significancia de 0.05 de evidencia y Lampa con 0.1 de evidencia. En la estación Lampa, presenta comportamiento temporal estable, y mientras que las tendencias de las temperaturas medias muestran un evidente cambio de incremento en $0.024^{\circ}\text{C}/\text{año}$ en las estaciones, siendo altamente significativa positiva a nivel anual de 0.01 de evidencia, solo en estación, Cabanillas disminuye con 0.005 de evidencia leve. En temperaturas mínimas a nivel de cuenca presenta un incremento de $0.0004^{\circ}\text{C}/\text{año}$, la estación Cabanillas y Lampa presentan alta significancia de 0.01, con tendencia negativa.
- Las precipitaciones de la estación de Cabanillas en el mes de mayo y anualmente tienden a disminuir con un nivel de significancia de 0.10, es decir una disminución de las lluvias, y a nivel anual para las estaciones analizadas presenta un comportamiento estable pero con una reducción de $0.17\text{mm}/\text{año}$, o sea no presenta cambios significativos. Pero si presentan una variabilidad climática con periodos secos y húmedos de los años, debido a la ubicación de las estaciones meteorológicas, pero no se identifica una tendencia regional marcada de disminución en la cuenca Coata.
- Los días de precipitación y temperatura máxima a los rendimientos de cultivo de haba grano seco viene afectando significativamente con un incremento de $13.28\text{kg}/\text{ha}$, mientras que las temperaturas mínimas y precipitación total no muestran impactos considerables pero sí negativamente; los días de

precipitación presenta incrementos, temperaturas máximas, medias y mínimas generan impactos significativas en el rendimiento de los cultivos de la papa 23.45kg/ha, mientras que la precipitación total no muestra impactos significativos, pero si negativamente, además la precipitación total, temperaturas máximas y mínimas generan impacto negativo en el rendimiento del cultivo de la quinua con pérdidas de 39.11kg/ha, pero los días de precipitación generan impactos significativos en el cultivo de la quinua, con incremento de 29.12kg/ha.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar investigaciones utilizando series de tiempo con mayor cantidad de años, esto para poder plantear políticas de desarrollo sostenible a nivel regional y nacional, para así poder instaurar programas de adaptabilidad.
- Los trabajos de investigación relacionados con efectos del cambio climático deben tener un análisis de series de tiempo con pruebas de bondad de ajuste, para así mostrar las variaciones en la producción de sistemas agropecuarios del altiplano.
- Se recomienda a los sectores involucrados en el manejo del sistema de cultivos andinos, que se deben implantar banco de datos de los rendimientos de cultivos de la zona y para la evaluación posterior.
- Finalmente se recomienda a las instituciones públicas, privadas y sectores involucrados en el manejo y aprovechamiento de los recursos hídricos frente al escenario del cambio climático deben realizar investigaciones con elementos y factores climáticos y la adopción aplicando nuevas metodologías como modelos estocásticos para diferentes escenarios actuales y futuros

BIBLIOGRAFÍA

- Abraha, M. G., & Savage, M. J. (2006). Potential impacts of climate change on the grain yield of maize for the midlands of KwaZulu-Natal, South Africa. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 115(1), 150-160.
- Akpalu, W. (2008). *Climate Variability and Maize Yield in South Africa Results from GME and MELE Methods*. INTERNATIONAL FOOD POLICY RESEARCH INSTITUTE.
- Alcama, J. (2007). A new assessment of climate change impacts on food production shortfalls and water availability in Russia. *Global Environmental Change*, 17(3), 429- 444.
- Aliaga, S. (1983). *Hidrología: Tratamiento de datos hidrometeorológicos*. UNMSM: Lima-Perú.
- ANA. (2004) Autoridad nacional de Agua Metodología de uso y cambio climático del País Lima Perú.
- Andrade, S. (2008). Mitos y verdades acerca del cambio climático en Bolivia. *Revista Boliviana de Física*, 14(1), 42-49.
- Anwar, M. R. (2007). Climate change impact on rainfed wheat in south-eastern Australia. *Field Crops Research*, 104(1), 139-147.
- Arana Pardo, I.(2007) El Cambio Climático en Bolivia.
- Ascough II, J. C. (2008). Agriculture Models. In J. Editors-in-Chief: Sven Erik & F. Brian (Eds.), *Encyclopedia of Ecology* (pp. 85-95). Oxford: Academic Press.
- Baudoin, M. (1991). *Historia Natural de un Valle en los Andes*. La Paz Bolivia.
- Bhaktikul, K. (2012). State of Knowledge on Climate Change and Adaptation. Activities in Thailand. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 40(1), 701-708.
- Belizario, G. (2014) Comportamiento de cambio climático de los Andes (Tesis). UNA

Puno. Puno, Perú.

- Blenkinsop, S., (2007). Changes in drought frequency, severity and duration for the British Isles projected by the PRUDENCE regional climate models. *Journal of Hydrology*, 342(1), 50-71.
- Blenkinsop, S., et al., (2008). Developing climatic scenarios for pesticide fate modelling in Europe. *Environmental Pollution*, 154(2), 219-231.
- Botzen, W. J. et al., (2010). Climate change and hailstorm damage: Empirical evidence and implications for agriculture and insurance. *Resource and Energy Economics*, 32(3), 341- 362.
- Cuadrant, G. (2008). Variabilidad meteorológico de cambio climático Lima Perú.
- Cline, W. R. (2007). *Global warming and agriculture: impact estimates by country* (2^o ed.). Washinton DC: Center for Global development.
- Crane, T. A., et al., (2011). Adaptation to climate change and climate variability: The importance of understanding agriculture as performance. *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences*, 57(3), 179-185.
- Chakraborty, S., et al., (2000). Climate change: potential impact on plant diseases. *Environmental Pollution*, 108(3), 317- 326.
- Chang, C.-C. (2002). The potential impact of climate change on Taiwan's agriculture. *Agricultural Economics*, 27(1), 51-64.
- Chow, V., Maidment, D., (1994). *Hidrología Aplicada* (J. Saldarriaga, Trans.). Colombia: McGraw Hill.
- CIC. (2006). Incremento de niveles de bióxido de carbón Lima Perú.
- Darwin, R., et al., (1999). World Agriculture and Climate Change Economic Adaptations. *Agricultural Economic Report, Number 703*.
- ECCNARCC, (2007). China's National Assessment Report on Climate Change. *Science Press*, 182-200.
- Echarri, P. A. (2003). Ciencia de la tierra y el medio ambiente TECNUM (Ed.)
- FAO. (2002). World agriculture: towards 2015/2030 summary report. *Food and Agriculture Organization, Rome*.
- Ficklin, D. L., et al., (2010). Sensitivity of groundwater recharge under irrigated agriculture to changes in climate, CO₂ concentrations and canopy structure. *Agricultural Water Management*, 97(7), 1039-1050.
- Fischer, G., et al., (2007). Climate change impacts on irrigation water requirements: Effects of mitigation, 1990–2080. *Technological Forecasting and Social*

- Change*, 74(7), 1083- 1107.
- Galindo, L.M. (2009). La economía del cambio climático en México. Síntesis.
- Gbetibouo, G.A., (2005). Measuring the economic impact of climate change on mejor South African field crops. A Ricardian approach. *Global and Planetary Change*, 47(4), 143-152).
- Garcia, M.. (2009). The economic relevance of climate variables in agriculture: The case of Spain. *Economía Agraria y Recursos Naturales*, 9(1), 52-64.
- González, J., (2008). Evaluation of the impact of climatic change on the economic value of land in agricultural systems in Chile. *Journal of Agricultural Research*, 68(1), 56-68.
- GRC. (2008). Estudio regional ambiental y cambio climático de Cajamarca Perú.
- GRP. (2008). Estrategia regional y Planificación concertada de la región Puno Perú.
- GRJ. (2005). Prevención y adaptación de medios especiales de la región Junín Perú.
- Guevarra, E. (2004). *Hidrología ambiental* (3ra. ed.). Venezuela: Universidad Carabobo.
- Hahn, M. B. (2009). The livelihood vulnerability index: A pragmatic approach to assessing risks from climate variability and change-a case study in Mozambique. *Global Environmental Change*, 19(1), 74-88.
- Iglesias, A., Rosenzweig, (2000). Agricultural impacts of climate change in Spain: Developing tools for a spatial analysis. *Global Environment Change*, 10(1), 69-80. PCC. (1992). Cambio Climático: Evaluación de impactos”. Primer Informe de Evaluación del IPCC. *Instituto Nacional de Meteorología de España*, 2.
- IPCC. (2001a). *Climate Change (2001): Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. McCarthy, J. J. et al. Eds.* (Vol. Cambridge University Press).
- IPCC. (2001b). *Intergovernmental Panel on Climate Change. (2001) Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the. Published for the Intergovernmental Panel on Climate Change.:* Cambridge University Press.
- IPCC. (2007). *Climate Change 2007: Climate Change Impacts, Adaptation and Vulnerability. Summary for policy makers. IPCC WGII 4th.* Praga, República

Checa.

- Jiang, Q., (2012). Economic effects of climate change in the Murray–Darling Basin, Australia. *Agricultural Systems*, 110(1), 10-16.
- Kabubo-Mariara, J. (2007). The economic impact of climate change on Kenyan crop agriculture: A Ricardian approach. *Global and Planetary Change*, 57(3), 319-330.
- Kang, Y., et al., (2009). Climate change impacts on crop yield, crop water productivity and food security – A review. *Progress in Natural Science*, 19(12), 1665-1674.
- Kumar, K. S. K., (2001). Indian agriculture and climate sensitivity. *Global Environmental Change*, 11(2), 147-154.
- Linsley, R., et al., (1986). *Hidrología para Ingenieros* (Mc Graw Hill ed.). Mc GRAW HILL Interamericana de México C.V. México.
- Lybbert, T. J., et al., (2012). Agricultural technologies for climate change in developing countries: Policy options for innovation and technology diffusion. *Food Policy*, 37(1), 114-123.
- Mejía, A. (2001). *Hidrología Aplicada* (2da. ed.). Universidad Nacional La Molina: Lima-Perú.
- Mendelsohn, R. (2007). Chapter 60 Past Climate Change Impacts on Agriculture. In R. Evenson & P. Pingali (Eds). *Handbook of Agricultural Economics* (Volume 3, pp.3009-3031): Elsevier.
- Méndez, P., (2010). Análisis de tendencias hidroclimáticas de dos cuencas representativas de isla de Puerto Rico. *Geografía de América Central Espacial*, 2(2), 101-125.
- Miller, A. (1982). *Climatología* (Quinta Edición ed. Vol. 1). Ediciones S. A.: Barcelona-España.
- MINAG. (2008). Manual de importancia ambiental para la humanidad Lima Perú.
- Núñez, M., (1995). Programa especial sobre medio ambiente de la secretaria de ciencia y técnica de la Universidad de Buenos Aires. In CONICET-UBA (Ed.), (1° ed., Vol. 1, pp. 123). Argentina: Universidad de Buenos Aires.
- ONU. (2002). Programa Mundial de cambio climático sobre calentamiento global.
- PCM. (2003). Presidencia de Consejo de Ministerios: Programa especial medio ambiental Lima Perú.

- Putnam, W., (1988). *Estudios en base a La Ley 1977 de Conservación de Recursos (RCA)*
Departamento de Agricultura de EE.UU.(USDA).
- Qiu, G.-y., et al., (2012). Impact of Climate and Land-Use Changes on Water Security for Agriculture in Northern China. *Journal of Integrative Agriculture*, 11(1), 144-150.
- Ramírez-Villegas, J. et al., (2010). Empirical approaches for assessing impacts of climate change on agriculture: The EcoCrop model and a case study with grain sorghum. *Agricultural and Forest Meteorology*(1).
- Reidsma, P., Ewert, F., Lansink, A. O., & Leemans, R. (2010). Adaptation to climate change and climate variability in European agriculture: The importance of farm level responses. *European Journal of Agronomy*, 32(1), 91-102.
- Roudier, P., et al., (2011). The impact of future climate change on West African crop yields: What does the recent literature say? *Global Environmental Change*, 21(3), 1073-1083.
- Sanabria, J., Marengo, J., & Velarde, M. (2010). Escenarios de Cambio Climático con modelos regionales sobre el Altiplano Peruano (Departamento de Puno) *Centro de Ciencias do Sistema Terrestre-INPE. Rodovia Presidente Dutra, Km 40, 12630-000 Cachoeira Paulista, São Paulo, Brasil: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, SENAMHI.*
- Sebastián, R. A., (1978). *Análisis Económico de las funciones de producción agrícola. Una aplicación al cultivo del trigo.* Universidad politécnica de Madrid.
- Senamhi. (1999). Estudio Hidrológico - Meteorológico en la Vertiente del Pacífico del Perú con Fines de Evaluación y Pronóstico del Fenómeno El Niño para Prevención y Mitigación de Desastres.
- Smith, J. B. (1997). Setting priorities for adapting to climate change. *Global Environmental Change*, 7(3), 251-264.
- Tang, W., et al., (2010). An overview of assessment methods of agricultural vulnerability under climate change. *Journal of Anhui Agricultural Sciences (in Chinese)*, 38 (25), 13847-13849.
- Tencer, B. (2010). *Variabilidad de los eventos extremos de temperatura observados y modelados en el sudeste de sudamérica, y sus proyecciones ante un escenario de cambio climático.* Tesis Doctoral, Universidad de Buenos Aires, Argentina.

- Thomson, A. M., et al., (2006). Climate change impacts on agriculture and soil carbon sequestration potential in the Huang-Hai Plain of China. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 114(2), 195-209.
- Traverso, M. I., (2011). Proyecto de estudio sobre el cambio climático en Argentina (2° ed., Vol. II, pp. 173): INTA.
- UNFCCC. (2003). Manual general de glaciaciones de las Montañas altas.
- Vanesa, C. C. (2004). Comunidad internacional y Cambio Climático Global. A propósito de nuevas tendencias y escenarios, from <http://www.caei.com.ar/ebooks/ebook14.pdf>
- Vargas, P. (2009). El Cambio Climático y sus Efectos en el Perú” BCRP - Serie de Documentos de Trabajo julio 2009.
- Vásquez, V. A., (1992). *El Riego Principios Básicos Parte I*. Lima Perú.
- Villon, M. (2002). *Hidrología Estadística* (2ª ed.). Villón Editor: Lima-Perú. Villón, M. (2002). *Hidrología* (2ª ed.). Villón Editor: Lima-Perú.
- Villón, M. (2009). *Hidrología* (2° ed.) Villón Editor: Lima-Perú.
- Wei, X., et al., (2009). Future cereal production in China: The interaction of climate change, water availability and socio-economic scenarios. *Global Environmental Change*, 19(1), 34-44.
- Xu, M., (2009). The Research of Vulnerability and Suitability to Climate Change of Yangtze River. *China Water Power Press*, 242-259.
- Yin, Y., (2004). Assessment Method of Global Climate Change and Its Application (in Chinese). *Higher Education Press*, 185-200.



ANEXOS

Anexo 1. Panel fotográfico



Figura 8. Cultivo de papa en la Cuenca de Coata-Puno



Figura 9. Rio Coata en la Cuenca Coata- Puno.



Figura 10. Cultivo de haba en la Cuenca de Coata-Puno.