

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



“RELACIÓN ENTRE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL CON EL DÉFICIT DE PRESIÓN DE VAPOR Y LA VELOCIDAD DEL VIENTO EN LA CUENCA DEL RIO DE RAMIS”

TESIS

PRESENTADA POR:

EDWIN CAYO ACEITUNO

PROMOCION 2007 – I

PARA OPTAR EL TITULO DE

INGENIERO AGRICOLA

PUNO – PERÚ

2015

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

TESIS

“RELACIÓN ENTRE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL CON EL DÉFICIT DE PRESIÓN DE VAPOR Y LA VELOCIDAD DEL VIENTO EN LA CUENCA DEL RIO DE RAMIS”

PRESENTADA A LA COORDINACION DE INVESTIGACION DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGRICOLA COMO REQUISITO PARA OPTAR EL TITULO DE:

INGENIERO AGRICOLA

APROBADO POR:

PRESIDENTE

.....
DR. EDUARDO FLORES CONDORI

PRIMER MIEMBRO

.....
M.SC. OSCAR R. MAMANI LUQUE

SEGUNDO MIEMBRO

.....
ING. EDILBERTO HUAQUISTO RAMOS

DIRECTOR

.....
ING. PERCY ARTURO GINEZ CHOQUE

ASESOR

.....
DR. EDUARDO LUIS FLORES QUISPE

Puno – Perú

2015

ÁREA : Ingeniería y Tecnología
TEMA: Meteorología y ciencias atmosféricas
LÍNEA: Recursos Hídricos

DEDICATORIA

La presente tesis lo dedico a la memoria de mi madre y abuelo que está en el cielo, a mi tío Agripino por su valioso apoyo moral, económico que me hace posible mi ansiada formación profesional y así mismo a mi tía Florentina por su apoyo incondicional y moral.

A mi gran amor: Elsa; Por sus ideales concejos y apoyo moral, que inspira en mí, constancia y sacrificio para seguir luchando y conseguir los objetivos que perseguimos. Así mismo a mis hijos: Nelly, Anyela y Pol Rodney.

Edwin Cayo Aceituno

AGRADECIMIENTO

El más sincero y profundo agradecimiento a:

A Nuestro Dios y padre todo poderoso.

A mis padres: por darme la vida, mis abuelos por apoyarme hasta el último día de su existencia. A mi tío Agripino por darme la educación y apoyarme en mi formación profesional, a mi tía Florentina por su apoyo incondicional moral.

A la Universidad Nacional del Altiplano - Puno, a la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola y al personal docente quienes contribuyeron en mi formación profesional.

Al Ing. PERCY ARTURO GINEZ CHOQUE, por la amplia colaboración y guía que me brindo para lograr a concluir este trabajo de tesis.

Al DR. EDUARDO LUIS FLORES QUISPE, asesor de la presente Tesis, por sus acertados concejos y colaboración para la culminación del presente trabajo.

Edwin Cayo Aceituno

INDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO.....	ii
LISTA DE ABREVIATURAS.....	viii
RESUMEN.....	ix
CAPITULO I. INTRODUCCION.....	1
1.1. Planteamiento del problema.....	1
1.2. Antecedentes	04
1.3. Justificación.....	06
1.4. Hipótesis	08
1.4.1. Hipótesis general	08
1.4.2. Hipótesis específicas	08
1.5. Objetivos del estudio.....	09
1.5.1. Objetivo general.....	09
1.5.2. Objetivos específicos.....	09
CAPITULO II. REVISION DE LITERATURA	10
2.1. Evapotranspiración potencial (ETP).....	10
2.2. Medición de la Evapotranspiración	10
2.3. Método de la bandeja de evaporación clase A	11
2.4. Coeficiente del tanque	13
2.5. Fórmula para la evapotranspiración potencial adaptada al trópico	14
2.6. Métodos de estimación de la evapotranspiración potencial en función del rango diurno de temperatura (ΔT) y radiación solar extraterrestre (Q_s).....	16
2.7. Presión de vapor de saturación.....	16
2.8. Humedad relativa.....	17
2.9. Ley de Dalton.....	17
2.10. Evaporación por método aerodinámico.....	18
2.11. Evapotranspiración de referencia.....	18
2.12. Evapotranspiración potencial y de referencia	19
2.13. Modelo de regresión múltiple	20
2.14. Estimación mínimo-cuadrática de la regresión múltiple	21
2.15. Medidas de la bondad del ajuste en la regresión múltiple.....	21
2.15.1 Coeficiente de determinación múltiple	21
2.15.2. Coeficiente de correlación múltiple	22
2.16. Pruebas en el análisis múltiple.....	22

2.16.1. Prueba mediante el analisis de varianza	22
2.16.2. Pruebas referentes a un parámetro particular	23
2.17. Método de Penman-Monteith	24
2.19. Estimadores de Máxima Verosimilitud (MV)	28
CAPITULO III. MATERIALES Y METODOS	31
3.1. Ubicación Geográfica	31
3.2. Ubicación Hidrográfica	31
3.3. Ubicación Política.....	32
3.4. Vías de Comunicación	32
3.5. Geomorfología	33
3.6. Hidrografía	35
3.7. Sistema Hidrográfico.....	37
3.7.1. Subcuenca Ayaviri	38
3.7.2. Subcuenca Azángaro.....	38
3.7.4. Subcuenca Llallimayo	39
3.7.5. Subcuenca Nuñoa	40
3.7.6. Subcuenca Ramis.....	41
3.7.7. Subcuenca San José	41
3.7.8. Subcuenca Santa Rosa	42
3.8. Información meteorológica	42
3.9. Metodología	43
3.10. Calculo de Evapotranspiración potencial	43
3.11. Diseño Estadístico	45
3.12. Calibración de la relación.....	46
3.13. Validación de la relación	46
3.15. Análisis de Variancia (ANVA).....	49
CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSION.....	50
4.1. Elementos climáticos de la cuenca del rio Ramis	50
4.1.1. Régimen Anual de la precipitación total promedio.....	50
4.1.2. Régimen de la Precipitación Estacional	51
4.1.3. Régimen de Temperaturas Medias.....	54
4.1.4. Régimen de Temperaturas Máximas Promedio.....	56
4.1.5. Régimen de Temperaturas Mínimas Promedio	57
4.1.6. Régimen de Temperaturas en la Región	59

4.1.7. Evaporacion.....	59
4.1.8. Humedad Relativa.....	60
4.1.9. Vientos.....	62
4.1.10. Presión atmosférica media.....	63
4.1.11. Radiación e insolación.....	63
4.1.12. Evapotranspiración potencial.....	63
4.1.13. Determinación de la ETP mediante el programa de Cropwat.....	64
4.2. Relación entre la evapotranspiración de referencia con el déficit de presión de vapor de la cuenca del río Ramis.....	66
4.2.1. Modelamiento de la relación entre la ETP, el déficit de presión de vapor y la velocidad del viento.....	67
4.2.2. Análisis estadístico de las variables climáticas.....	67
4.2.3. Calibración.....	75
4.2.4. Validación del modelo.....	79
CAPITULO V. CONCLUSIONES.....	82
CAPITULO VI. RECOMENDACIONES.....	83
CAPITULO VII. BIBLIOGRAFÍA.....	84
VIII.ANEXOS.....	87
Mapas	
Datos climatológicos	

RELACION DE CUADROS

Cuadro N° 01. Análisis de la varianza (ANOVA) para la regresión múltiple.....	23
Cuadro N° 02. Sub Unidades Hidrográficas (Subcuenas) - Cuenca del río Ramis....	38
Cuadro N°03. Estaciones meteorológicas en la cuenca Ramis.....	43
Cuadro N° 0 4. Precipitación Total Mensual – Promedio Multianual (1977 - 2009) completada y Consistente Observatorios de la Cuenca del río Ramis.....	52
Cuadro N° 05. Precipitación Total Mensual – Expresada en Porcientos del Total Anual (%) Observatorios de la Cuenca del río Ramis.....	53
Cuadro N° 06. Temperatura Media Mensual (°C) – Promedio Multianual Observatorios de la Cuenca del río Ramis y Cuencas Vecinas.....	55
Cuadro N° 07. Temperatura Máxima Mensual (°C) – Promedio Multianual observatorios de la Cuenca del río Ramis y Cuencas Vecinas.....	57
Cuadro N° 08. Temperatura Mínima Mensual (°C) – Promedio Multianual observatorios de la Cuenca del río Ramis y Cuencas Vecinas.....	58

Cuadro. N° 09 Evaporacion Total Promedio Mensual (mm.) – Promedio Multianual observatorios de la Cuenca del río Ramis y Cuencas Vecinas.....	59
Cuadro N° 10. Humedad Relativa Promedio Mensual (%) – Promedio Multianual observatorios de la Cuenca del río Ramis y Cuencas Vecinas.....	61
Cuadro. N° 11. Evapotranspiración media (mm/día) de la Estación Chuquibambilla....	65
Cuadro N° 12. Períodos de calibración y validación de serie de datos históricos.....	67
Cuadro N° 13. Variación temporal del déficit de presión de vapor (Pa) Estación Chuquibambilla.....	68
Cuadro N° 14. Variación temporal de la humedad relativa media (%) Estación Chuquibambilla.....	69
Cuadro N° 15. Variación temporal de la temperatura media de las mínimas (°C) estación Chuquibambilla.....	70
Cuadro N° 16. Variación temporal de la temperatura media de las máximas (°C) Estación Chuquibambilla.....	71
Cuadro N° 17. Variación temporal de la velocidad del viento (m/s) Estación Chuquibambilla.....	72
Cuadro N° 18. Variación temporal del rango de temperatura (°C) Estación Chuquibambilla.....	73
Cuadro N° 19. Variación temporal de la radiación extraterrestre (mm/mes) Estación Chuquibambilla.....	74
Cuadro 20. Resultados de regresión sin transformar variables.....	75
Cuadro N° 21 Eto Observado (m.....)	80
Cuadro N° 22 Eto calculado (mm/día).....	80

RELACION DE FIGURAS

Figura. N° 01. Conformación de Subcuencas de la cuenca del río Ramis.....	32
Figura. N° 02 Precipitación Total Anual – Promedio Multianual (1977-2009) observatorios de la Cuenca del río Ramis y Cuencas Vecinas.....	51
Figura. N° 03 Precipitación Total Mensual – Promedio Multianual (1977 - 2009) observatorios de la Cuenca del río Ramis y Cuencas Vecina.....	52
Figura N° 04 Temperatura Media Mensual (°C) – Promedio Multianual Observatorios de la Cuenca del río Ramis y Cuencas Vecinas.....	56

Figura N° 05 Temperatura Máxima Mensual (°C) – Promedio Multianual observatorios de la Cuenca del río Ramis y Cuencas Vecin.....57

Figura N° 06. Temperatura Mínima Mensual (°C) – Promedio Multianual observatorios de la Cuenca del río Ramis y Cuencas Vecinas.....58

Figura N° 07 Evaporación Total Promedio Mensual (mm.) – Promedio Multianual observatorios de la Cuenca del río Ramis y Cuencas Vecinas.....60

Figura N° 08. Humedad Relativa Promedio Mensual (%) – Promedio Multianual observatorios de la Cuenca del río Ramis y Cuencas Vecinas.....62

Figura. N° 09. Evapotranspiración media (mm/día) de la Estación Chuquibambilla.....66

Figura N° 10. Variación temporal del déficit de presión de vapor (Pa) Estación Chuquibambilla.....68

Figura N° 11.Variación temporal de la humedad relativa media (%) Estación Chuquibambilla..... 69

Figura N° 12. Variación temporal de la temperatura media de las mínimas (°C) Estación Chuquibambilla.....70

Figura N° 13. Variación temporal de la temperatura media de las máximas (°C) Estación Chuquibambilla.....71

Figura N° 14. Variación temporal de la velocidad del viento (m/s) Estación Chuquibambilla.....72

Figura N° 15. Variación temporal del rango de temperatura (°C) Estación Chuquibambilla.....74

Figura N° 16.Variación temporal de la radiación extraterrestre (mm/mes) Estación Chuquibambilla.....75

Figura N° 17. Residuales respecto al orden de datos.....76

Figura N° 18. Histograma de residuales.....76

Figura N° 19. Residuales respecto a los valores ajustados.....77

Figura N° 20 Gráfico probabilidad de los residuales.....77

Figura. N° 21 Prueba gráfica de normalidad de los residuales.....78

Figura. N° 22 Comparación de Eto calculada y observada para el período de Validación.....80

Figura. N° 23 Diagrama de dispersión entre la Eto calculada y observada.....81

LISTA DE ABREVIATURAS

ANVA: Análisis de Variancia.

ATDR: Administración de Distritos de Riego.

ET: Evapotranspiración.

ETo: Evapotranspiración de referencia.

ETPE: Evapotranspiración Potencial.

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

INADE: Instituto Nacional de Desarrollo.

INRENA: Instituto Nacional de Recursos Naturales.

IRH: Intendencia de Recursos Hídricos.

MCO: Mínimos Cuadrados Ordinarios.

MV: Estimadores de Máxima Verosimilitud.

OGATEIRN: Oficina de Gestión Ambiental Transectorial Evaluación e Información de Recursos Naturales.

ONERN: Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales.

PROFODUA: Programa de Formalización de Derechos de Uso de Agua.

S/U: Sin Uso.

UPC: Uso Consuntivo Potencial.

UTM: Universal Transverse Mercator

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivos determinar qué relación existe entre el proceso evapotranspiración potencial, el déficit de presión de vapor y la velocidad del viento en la Estaciones Meteorológicas de la cuenca Ramis. Específicamente se determinó la relación a través de una regresión lineal múltiple en un proceso de calibración y luego esta relación se validó comparando los valores obtenidos por la relación con valores obtenidos a través del método de Penman-Monteith. La relación obtenida es lineal, además la relación se compone de dos términos que representan la influencia de la temperatura y la radiación extraterrestre. Los coeficientes de regresión lineal múltiple son estadísticamente significativos y diferentes de cero y se halló un alto valor de coeficiente de correlación de 0.84 y de determinación de 71%. La relación posee una base física porque los términos de velocidad de viento y déficit de presión de vapor representan el factor aerodinámico, y los términos de temperatura y radiación extraterrestre representan el factor del balance de energía. Además, esta relación estima mejor la evapotranspiración de referencia que los demás métodos con los que se comparó, debido a que tiene un menor error medio cuadrático respecto a la evapotranspiración de referencia obtenida con tanque clase A. La variación de los valores obtenidos con la relación es estadísticamente igual a la variación obtenida con tanque clase A, y sobreestima ligeramente la media debido a que los valores de evapotranspiración de referencia en la calibración son mayores a los de la validación. Se recomienda aplicar la relación obtenida para la estación de Chuquibambilla y lugares cercanos, verificar la confiabilidad de los datos climáticos, realizar modelos similares en otras estaciones en la región de Puno considerando otros factores climáticos, y analizar de manera regional el comportamiento climático.

CAPITULO I. INTRODUCCION

1.1.Planteamiento del problema

El recurso agua es un elemento imprescindible así como escaso para la vida, sabemos que menos del 1% del agua del planeta es dulce y accesible para el hombre, aunque este porcentaje varía considerablemente según el lugar, el clima o la época del año. En nuestro país, es uno de los países más ricos en recursos naturales, obtiene el agua que consume la población de fuentes tales como ríos, arroyos y acuíferos del subsuelo. Estos acuíferos se recargan de forma natural en época de lluvias.

Sin embargo, la época de lluvias tiene una duración promedio de cuatro meses lo que propicia una escasa captación. Aunado a esto, del total de agua captada por lluvias, aproximadamente el 70% se evapora.

La desproporción que existe entre la cantidad de agua que se capta por escurrimiento y las extensiones territoriales que comprenden aunado a la corta temporada de lluvias hace que la disponibilidad del agua sea cada vez menor.

Un gran problema en el manejo de los recursos hídricos en nuestro país, es su ineficiencia, especialmente en el uso agrícola (erosión de los suelos en la Sierra), las inundaciones, las sequías, la degradación de suelos por mal drenaje y salinidad; falta de estructuras hidráulicas de medición y control del agua; falta de operación y mantenimiento adecuado de los sistemas hidráulicos (Vasquez, 2000).

Para el aprovechamiento eficiente de los recursos hidráulicos implica el conocimiento de los lugares donde se encuentra el agua y en qué cantidad existe y su calidad y patrón de variabilidad. La estimación de las demandas para los diversos usos del agua, tanto en el tiempo como en el espacio y, establecer las normas para los usos del agua. En el

medio rural, se debe tomar en cuenta la demanda de agua requerida para la subsistencia y desarrollo de los asentamientos rurales o comunidades campesina; la demanda del medio rural se estima considerando el crecimiento poblacional, la dotación de la población y el consumo pecuario directo (Chang Navarro, 1993).

Las sequias e inundaciones influyen el uso de los recursos naturales en diferente intensidad. Las sequias, generan una fuerte disminución de la población ganadera, perdida de variedades dentro de las especies de cultivos practicados en esta zona, deterioro de los pastizales naturales e introducidos así como una fuerte deforestación de árboles en afán de conseguir combustible.

Por otro lado, las excesivas precipitaciones causan, en las zonas con intensidad de cultivos alta, perdida de variedades, disminución de los volúmenes de producción e incremento de los niveles de erosión hídrica; los pastizales mejoran por tener mejores condiciones de humedad de suelo que les permite desarrollarse adecuadamente. Los sistemas productivos son mayormente del tipo de agricultura tradicional y con tierras marginales (solo existen suelos de clase III y IV) y por tanto la meta no debe ser elevar la productividad a niveles expectantes, sino la estabilidad de producción tendiente a lograr la sostenibilidad de los sistemas productivos. Esto es posible por una parte, si se adecua el medio físico como: andenes, terrazas, camellones, q'ochas, irrigaciones etc. y por otra si se buscan variedades locales y/o introducidas con alta estabilidad productiva, que respondan a ambientes climáticos variables.

Sin embargo, el problema del cambio climático y el calentamiento global generalizado a nivel del globo terráqueo, hace que exista las alteraciones en el ciclo hidrológico la cual afecta directamente a los procesos de evaporación y transpiración y por ende el uso consuntivo de los cultivos en general.

Por otro lado, la humanidad esta amenazada por el problema del hambre cada vez mas fuerte, muy en especial en nuestro territorio especialmente por la presencia de factores adversos como las heladas, sequías, entre otros fenómenos climatológicos en general; así también el manejo inadecuado de los recursos hídricos especialmente en el uso agrícola, las inundaciones y el mantenimiento inadecuado de los sistemas de riego y drenaje de tierras agrícolas, especialmente en el altiplano Puneño (TDPS, 2011).

En la región de Puno, todavía no se hicieron estudios relacionados con la determinación de los procesos de evaporación, transpiración y la evapotranspiración potencial, no existen metodologías adecuadas para su determinación, es decir cómo influyen los factores y elementos del clima en los procesos mencionados; por esta razón el presente trabajo se plantea como un problema prioritario para determinar empíricamente una fórmula adoptado a la zona para su aplicación en la agricultura de la zona andina.

Por las razones expuestas, la investigación propone realizar estudios sobre los procesos de evaporación, transpiración y evapotranspiración de las plantas cultivables, con el propósito de lograr un comportamiento que guarde armonía y equilibrio con los ecosistemas, pero antes debemos evaluar cada uno de ellos, a partir de un análisis de los elementos del clima, que son aquellas que tienen influencia directa en el proceso de la pérdida de agua hacia la atmósfera. Se ha formulado la siguiente interrogante: ¿Qué relación existe entre el proceso evapotranspiración potencial, el déficit de presión de vapor y la velocidad del viento en las Estaciones Meteorológicas de la cuenca Ramis?

1.2. Antecedentes

La intendencia de recursos hídricos (ex Dirección General de Aguas y Suelos) del Instituto Nacional e Recursos Naturales, viene desarrollando estudios de Evaluación de los Recursos Hídricos en diversas cuencas del Perú, como es el caso de las cuencas de los ríos Cañete, Chancay-Huaral, Chili, Caplina, Ramis, Pisco – Chinchá, Coata, etc; y consciente de la necesidad del país de disponer del conocimiento integral y homogéneo de la potencialidad de sus recursos hídricos que conlleven a un uso racional y planificado, desde los puntos de vista social, económico, ecológico y considerando la participación de todos los agentes consumidores de agua de la cuenca, dentro de sus limitaciones existentes, prosigue con sus objetivos iniciales extendiendo estos estudios en otras cuencas, como es el presente caso de la Actualización del Balance Hídrico de la Cuenca del río Ramis en la Región Puno (INRENA, 2008).

Bajo este marco y objetivo integral de proporcionar información valiosa para el ordenamiento y gestión de los recursos hídricos; el presente estudio hidrológico de la cuenca del río Ramis se sustenta, no sólo en la necesidad de contar con una descripción, evaluación y cuantificación de su disponibilidad hídrica, sino también tener fundamentos que permitan entender el real funcionamiento hidrológico de la cuenca y de ello concluir en cuanto a las restricciones y bondades que nos ofrece este sistema natural como “generador” de agua superficial.

Las dos actividades principales socio-económicas en la cuenca son la agricultura y la ganadería, constituyéndose esta en un eje para el desarrollo de otras labores productivas como transporte, comercio y consumo. En las zonas cercanas a los cauces de ríos y las zonas cercanas al Lago Titicaca, la población vive principalmente de la agricultura, mientras que en las zonas más alejadas se dedican mayormente a la ganadería por ser zonas con predominancia de pastos naturales y no ser apropiadas para cultivos por los

riesgos inherentes al clima (ocurrencia de sequías, heladas y bajas temperaturas) (INRENA, 2008).

Por consiguiente, el agua superficial en la cuenca del río Ramis representa un “input” económico de singular importancia para el desarrollo socio-económico de la Región Puno. A pesar de ello, los datos de evapotranspiración son necesarios con antelación al planeamiento de proyectos o para programar calendarios de riego. Para cubrir esta necesidad, algunas guías fueron desarrolladas y publicadas en el Documento N° 24 de la Serie FAO Riego y Drenaje «Necesidades de agua de los cultivos». En este documento, y con el fin de adecuarse a las necesidades de usuarios con diversa disponibilidad de datos, se presentaron cuatro métodos para calcular la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o): Blaney- Criddle, radiación, Penman modificado y el método del tanque de evaporación.

El método de Penman modificado se consideró que ofrecía los mejores resultados con el mínimo error posible con relación a un cultivo de referencia (pasto). También se esperaba que el método del tanque de evaporación ofreciese estimaciones aceptables, en función de la localización del tanque. El método de la radiación fue sugerido para las áreas donde los datos climáticos disponibles incluían la medición de las horas de insolación, la nubosidad o la radiación, pero no la velocidad del viento ni la humedad atmosférica. Finalmente, la publicación propuso el uso del método de Blaney-Criddle para las áreas donde los datos climáticos disponibles incluían solamente datos de temperatura del aire. (FAO, 2006).

El departamento de Puno se ubica al sur del Perú en la frontera con la república de Bolivia. Está constituido por dos grandes zonas: el altiplano y la selva. La población para 1996 fue de 1'134686 habitantes, 58 % es rural, dedicada a actividades principalmente

agropecuarias y de servicios. La tasa anual de crecimiento poblacional de 1.52 es inferior a la nacional, debido al proceso migratorio.

El altiplano contiene 4 sub-tipos climáticos que se inician a partir de las orillas del Lago Titicaca (sub-tipo A) hacia las zonas cordilleranas (sub-tipo D) con variaciones de temperatura de -0 C hasta 13 C , y que con precipitaciones de 400 a 700mm determinan un desarrollo variable de la agricultura y ganadería. Ecológicamente presenta cuatro formaciones: a) Pradera o Bosque Húmedo Montano, b) Monte Húmedo y Muy Húmedo Sub-Alpino, c) Tundra Pluvial Alpino y d) Nival (L.R Holdridge) y según P.Vidal: a) Region Suni, b) Region Puna y c) Region Janca.

El déficit de presión de vapor es la diferencia entre la presión de saturación de vapor (e_s) y la presión real de vapor (e_a) durante un determinado periodo. Para periodos tales como una semana, diez días o un mes, es se calcula de la Ecuación 12 usando el promedio de Temperatura máxima y Temperatura mínima en el periodo. En el caso de e_a , esta se computa similarmente con la aplicación de las ecuaciones en función a la disponibilidad de datos, usando los promedios de cada periodo, el uso de la temperatura media del aire en lugar de Temperatura máxima y Temperatura mínima, resulta en una subestimación en algunos casos, consecuentemente en un valor más bajo del déficit de presión de vapor y por lo tanto una subestimación de ET_o . Si es pertinente, e_s y e_a para periodos largos también pueden calcularse como los promedios de valores calculados en forma diaria durante el periodo estudiado (FAO, 2006) y (Vasquez, 2000).

1.3. Justificación

El problema de los países en desarrollo es optimizar sus recursos potenciales de agua, en general suficientes. En los países desarrollados el mayor problema es el de la economía del agua y la contaminación de los puentes. Ello implica que se tenga que

recurrir el planeamiento hidráulico y al empleo de tecnología cada vez más avanzada en el aprovechamiento de los recursos hídricos (Santayana, 1990).

Los recursos hídricos están constituidos, principalmente, por las aguas de escurrimiento superficial y las aguas subterráneas. El aprovechamiento de los recursos hídricos requiere de la concepción, planeamiento, diseño, constitución, operación y mantenimiento de obras para controlar y utilizar el agua, para las diferentes necesidades existentes. El conjunto de estas obras constituyen los llamados proyectos hídricos. El agua se controla y se regula para ser aprovechada en una amplia gama de propósitos y para evitar que cause daños o provoque pérdidas económicas y/o de vidas humanas (Dourojeanni, 1978).

La presente investigación plantea contribuir al problema del manejo racional del recurso hídrico, la misma que ayudará a solucionar problemas del hambre que es generalizado a nivel nacional y mundial, el buen manejo racional de los recursos naturales permite incrementar la cantidad y calidad de alimentos en el altiplano puneño en sus diferentes zonas ecológicas del área de influencia considerable, para el manejo de sus pasturas naturales con el fin de optimizar el manejo de los recursos potenciales de agua.

Los problemas mencionados son originados básicamente por una falta de ordenamiento de los recursos naturales como es el recurso hídrico especialmente, en el uso de los mismos. Frente a esta situación, es necesario y prioritario desarrollar trabajos de investigación en el ámbito del departamento de Puno y en sus unidades hidrográficas, en los cuales se pretende desarrollar un ordenamiento de sus recursos naturales que no solo asegure el uso y aprovechamiento eficaz de los mismos, sino también, su protección y conservación. Para la implementación de este plan de ordenamiento y manejo, principalmente en los recursos de agua y suelo es necesario conocer su comportamiento, lo cual este dentro de los objetivos de esta investigación.

Los resultados obtenidos en la presente investigación permitirán recurrir al planeamiento hidráulico y al empleo de tecnología cada vez más avanzada en el aprovechamiento de los recursos agua y suelo (Santayana, 1990) y (Dourojeanni, 1978).

Los resultados de la investigación servirán para proponer a Centros de Investigaciones Agrícolas y Proyectos de Desarrollo Agrícola la aplicación de la nueva fórmula empírica. Podrán ser utilizados en experimentos con cultivos agrícolas de importancia en la zona de estudio y cualquier otro lugar importante.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

Hay una relación entre la evapotranspiración potencial con el déficit de presión de vapor que depende de la velocidad del viento en la Cuenca del Rio Ramis.

1.4.2. Hipótesis específicas

La evapotranspiración de referencia depende de forma no lineal del déficit de presión de vapor y de la velocidad del viento en la estaciones de la cuenca del rio Ramis.

Los parámetros de regresión entre la evapotranspiración de referencia, el déficit de presión de vapor y la velocidad del viento son estadísticamente significativos dependiendo del tipo de modelo obtenido.

1.5. Objetivos del estudio

1.5.1. Objetivo general

Determinar la relación entre la evapotranspiración de referencia con el déficit de presión de vapor influenciada por la velocidad del viento en la Cuenca del río Ramis.

1.5.2. Objetivos específicos

Determinar qué relación existe entre la evapotranspiración de referencia con el déficit de presión de vapor influenciada por la velocidad del viento en condiciones de las Estaciones de la cuenca del río Ramis.

Evaluar los parámetros de regresión entre la evapotranspiración de referencia, el déficit de presión de vapor y la velocidad del viento, y verificar su significancia estadística.

CAPITULO II.

REVISION DE LITERATURA

2.1. Evapotranspiración potencial (ETP)

(Vasquez, 2000), indica, la evapotranspiración potencial (ETP), es la cantidad de agua evaporada y transpirada por un cultivo de tamaño corto (generalmente pastos), que cubre toda la superficie en estado activo de crecimiento y con un suministro adecuado y continuo de agua .

(Olarte, 1987), según Thorntwaite, la ETP viene significar la necesidad real de agua de los cultivos, planteamiento que fue apoyado posteriormente por Papadakis; en cambio Blaney y Criddle, lo denomina uso consuntivo potencial (UCP), a diferencia del uso consultivo (UC) que sería la cantidad de agua gastada en una área de cultivo por unidad de tiempo, tanto para la evaporación del suelo, transpiración de las plantas como la formación de los tejidos vegetales en las condiciones que fija el medio.

2.2. Medición de la Evapotranspiración

Según (Gurovich, 1999), los lisímetros, son instrumentos utilizados para medir el contenido real de agua en el suelo; están rodeados de vegetación natural, para reproducir las condiciones existentes en el campo; por diferencias de peso medidas continuamente se determina la pérdida de agua del cultivo. Cuando los lisímetros se construyen adecuadamente y son instalados en lugares representativos, pueden proveer las medidas más exactas del uso de agua por los cultivos; sin embargo, estas instalaciones son de alto costo de operación y se utilizan sólo con fines de investigación, en estaciones experimentales muy complejas.

La ecuación del balance hidrológico aplicada al caso de los lisímetros es:

$$EI = LL + R - P \pm \Delta H \quad (mm)$$

En que:

ET = evapotranspiración real del cultivo,

LL = lámina proporcionada por la lluvia,

R = lámina proporcionada por el riego,

ΔH = cambio de humedad del suelo en el período considerado y

P = percolación profunda.

En cuanto al relleno con suelo, especial énfasis debe ponerse en la reproducción exacta de la estratificación y grado de compactación del suelo, tal como se presenta en las condiciones del campo. Es necesario además, asegurarse que la fracción de agua que percola no se acumule en las capas inferiores del perfil de suelo, por efecto de la capilaridad y tensión superficial.

2.3. Método de la bandeja de evaporación clase A

(Gurovich, 1999), afirma que, el método estándar de determinación de la evapotranspiración, es el evaporímetro de bandeja Standard Clase A, del U.S.W.B. (Oficina de Climatología de EE.UU.); este instrumento permite determinar la evaporación desde una superficie de agua, que es el mejor integrador de los factores climáticos que determinan la evapotranspiración.

La evaporación medida por este método es denominada evaporación de bandeja por medio del coeficiente de bandeja; se encuentra referida a una vegetación de escasa altura en activo crecimiento, que cubre íntegramente el terreno y se mantiene sin restricciones de humedad del suelo; su magnitud depende fundamentalmente de las

condiciones climáticas existentes, dadas por las características de la atmósfera vecina al suelo (evapotranspiración potencial) (Irmak, S. y Haman, D.Z., 2003).

La bandeja de evaporación Clase A, instalada en una extensión de pasto regado o en un área bajo cultivos regados, ha sido ampliamente utilizada en la programación de los riegos, debido a que, a diferencia de las ecuaciones empíricas que relacionan datos climáticos, permite medir los efectos ponderados de las variables que influyen la evapotranspiración, como humedad relativa, viento, radiación y temperatura. La ecuación general para estimar ET_p (evapotranspiración potencial) por medio de lecturas de evaporación en una bandeja es:

$$ET_p = K_b * E$$

Dónde: ET_p = evapotranspiración potencial diaria del área bajo estudio (mm/día);

K_b = coeficiente de bandeja, que depende de la ubicación de ésta y de las condiciones climáticas; E = evaporación del tanque o bandeja para el período de 24 horas (mm/día).

La bandeja de evaporación se comporta, dentro de ciertos límites, en la misma forma que las plantas, frente a la acción combinada de la radiación, viento, temperatura y humedad relativa del aire. Sin embargo, una superficie libre de agua absorbe más energía incidente que la superficie de un cultivo.

Además, el calor almacenado dentro de un tanque o bandeja puede causar una considerable evaporación durante la noche, mientras la mayoría de las plantas transpiran únicamente durante el día. El color de la bandeja y la cantidad de agua almacenada en ésta producen diferencias en la cantidad de agua evaporada. Por consiguiente, es

necesario, que la ubicación de la bandeja sea correctamente seleccionada, teniendo en cuenta todas las condiciones del clima, así como del medio ambiente que le rodea.

Al seleccionar el coeficiente de bandeja $Kb = \frac{ETp}{E}$, se debe tomar en cuenta la fisiología del cultivo de referencia. El rango óptimo de temperaturas para algunos pastos es 10°C más alto que para otros cultivos. También cabe mencionar que la respuesta estomática al viento, temperatura y diferencias de humedad relativa del aire, que es variable entre las especies agrícolas. Si las temperaturas no exceden significativamente el valor óptimo, los coeficientes Kb son usualmente más altos para meses cálidos.

Si la bandeja de evaporación clase A es instalada y operada correctamente en un área grande con pasto regado, el coeficiente Kb se mantiene casi constante, variando de 0.75 a 0.85, excepto bajo condiciones de viento intenso o baja temperatura. Los niveles de agua en la bandeja deberían mantenerse de a 7.5 cm bajo el borde superior; una disminución de 10 cm bajo este nivel puede ocasionar errores del 15% en la evaporación de la bandeja. Algunas veces, se utilizan mallas para evitar que las aves u otros animales tomen el agua de la bandeja; la instalación de mallas puede reducir la evaporación en un 10% adicional.

2.4. Coeficiente del tanque

(Allen; Pereira, L.; Raes, D. and Smith, M., 1998), afirman que, dependiendo del tipo de tanque, el tamaño y estado de la zona de amortiguamiento de viento (fetch) los coeficientes diferirán. Al agrandar la zona de amortiguamiento de viento, la mayoría de aire en movimiento sobre el tanque estará en equilibrio con la zona de amortiguamiento. El coeficiente para el tanque clase A para diferentes coberturas de suelo, fetch y condiciones climáticas puede obtenerse con una ecuación de regresión.

Donde datos son faltantes, la velocidad del viento puede ser estimada por tomar un valor global de 2 m/s. La ecuación de regresión para el tanque clase A y para el caso A, es:

$$Kp = 0.108 - 0.0286u_2 + 0.0422 \ln(FET) + 0.1434 \ln(RH_{mean}) - 0.000631 [\ln(FET)]^2 \ln(RH_{mean})$$

Donde:

Kp = coeficiente del tanque.

u_2 = velocidad del viento diaria promedio a 2 m de altura (m/s).

RH_{mean} = humedad relativa diaria promedio (%).

FET = fetch.

El rango de las variables es:

$1 \text{ m} \leq FET \leq 1000 \text{ m}$ (estos límites deben ser observados).

$30 \% \leq RH_{mean} \leq 84 \%$

$1 \text{ m/s} \leq u_2 \leq 8 \text{ m/s}$

2.5. Fórmula para la evapotranspiración potencial adaptada al trópico

(García Benavides, J. y López Díaz, J., 1970), afirman que, en condiciones tropicales el cálculo del balance hídrico hecho a partir de fórmulas de evapotranspiración presenta diferencias apreciables con el obtenido a partir de mediciones de humedad en el suelo. Entre otras cosas estas diferencias se deben a que tales métodos no son representativos para aquellas condiciones, al haberse desarrollado en latitudes templadas. Por este motivo se considera conveniente disponer de una ecuación más adaptable al trópico, en especial para la faja latitudinal 15° N – 15° S.

En la obtención de la misma se debe adoptar el criterio de utilizar los factores climatológicos de más fácil consecución.

Para este orden de ideas hay que analizar la disponibilidad de registros climatológicos de la región en consideración. Tal estudio conduce a los siguientes razonamientos.

Existe una baja densidad total de estaciones climatológicas.

Hay baja densidad de registradores de radiación solar.

Los registros más abundantes son temperatura, humedad y evaporación.

Con referencia a la parte b) se observa que los pocos registradores de radiación solar son aparatos mecánicos de relativa precisión que pueden incurrir en errores aún del 10%.

El combinar los resultados de la regresión con la ecuación, permite esbozar la siguiente fórmula:

$$ETP = 1.21 * 10^{\frac{7.45T}{234.7+T}} (1 - 0.01HR) + 0.21T - 2.30$$

Dónde: T = temperatura media en °C; HR = humedad relativa media de las horas diurnas

aproximadamente igual a: $HR = \frac{HR(8:00) + HR(14:00)}{2}$

ETP = evapotranspiración potencial en mm/día.

Los autores proponen el uso de la expresión para el cálculo de la evapotranspiración potencial en el trópico (15°N-15°S), comparando la precisión de dicha fórmula con otros métodos tradicionales de amplio uso, mediante el análisis de varianza entre los valores de ETP observados y calculados.

2.6. Métodos de estimación de la evapotranspiración potencial en función del rango diurno de temperatura (ΔT) y radiación solar extraterrestre (Q_s)

(García V. J.; Sánchez C. O. y Paredes R., 1999), mencionan que, los modelos de mejor ajuste corresponden al potencial y exponencial cuyas expresiones se presentan en seguida.

Para La Molina:
$$E_o = 1.155(Q_s)^{0.05732\Delta T} \text{ (mm/día).}$$

$$E_o = Q_s(e)^{(-2.41+0.134\Delta T)} \text{ (mm/día).}$$

Para Puno:
$$E_o = 3.2114(Q_s)^{0.005623\Delta T} \text{ (mm/día).}$$

$$E_o = Q_s(e)^{(-1.57+0.0144\Delta T)} \text{ (mm/día).}$$

En ambas localidades el rango diurno de temperatura y la radiación solar disponible en el tope de la atmósfera son buenos estimadores de la evapotranspiración potencial. En cuanto a la precisión se ha encontrado que los errores de estimación son menores en Puno y mayores en La Molina.

2.7. Presión de vapor de saturación

Según (Chow, V. T; Maidment, D.R. y Mayes, L. W., 1994), para una temperatura de aire dada, existe un máximo contenido de humedad que el aire puede tener y la presión de vapor correspondiente se denomina la presión de vapor de saturación e_s . A esta presión de vapor, las tasas de evaporación y condensación son iguales. Sobre la superficie de agua la presión de vapor de saturación se relaciona con la temperatura del aire; una ecuación aproximada es

$$e_s = 611 \exp\left(\frac{17.27T}{237.3 + T}\right)$$

Donde e_s esta en pascales ($\text{Pa} = \text{N/m}^2$) y T esta en grados Celsius (Raudkivi, 1979).

2.8. Humedad relativa

El valor de la presión real (promedio) diaria de vapor, (e_a), en kilopascales (kPa) se requiere como dato de entrada para la aplicación de la ecuación FAO Penman-Monteith. En caso de que los valores de presión real de vapor no estén disponibles, estos pueden ser derivados de la humedad relativa máxima y mínima (%), de los datos psicrométricos (temperaturas de bulbo seco y mojado en °C) o de la temperatura del punto de rocío (°C) según los procedimientos presentados por el (FAO, 2006).

(Chow, V. T; Maidment, D.R. y Mayes, L. W., 1994) Mencionan que la humedad relativa R_h es la relación entre la presión de vapor real y su valor de saturación a una temperatura

de aire dada:

$$R_h = \frac{e}{e_s}$$

La temperatura a la cual el aire se satura para una humedad específica dada es la temperatura de punto de rocío T_d .

2.9. Ley de Dalton

Según, (Aparicio Mijares, 1993) indica que el proceso de evaporación el intercambio de moléculas se forma en una pequeña zona situada junto a la superficie de agua. Se e_w es la presión de vapor existente en la zona de intercambio, e_a es la presión de vapor del aire que se tiene en un momento dado y e_s la presión de vapor de saturación. La Ley de Dalton propuesta en 1802 afirma que “la evaporación es proporcional al gradiente de presión de vapor entre la zona de intercambio y la atmósfera”. Se expresa como

$$E = k(e_w - e_a)$$

Donde k es una constante de proporcionalidad y E es la evaporación. El valor de e_w generalmente tiene un valor cercano a e_s , de manera que la ecuación anterior se expresa en forma aproximada como

$$E = k(e_s - e_a)$$

2.10. Evaporación por método aerodinámico

(Chow, V. T; Maidment, D.R. y Mayes, L. W., 1994), menciona que la evaporación por el método aerodinámico se obtiene mediante la siguiente ecuación: $E_a = B(e_{as} - e_a)$

Donde E_a = tasa de evaporación [L/T], e_{as} = presión de vapor de saturación [N/m²], e_a = presión de vapor actual o real y B = factor que depende de la constante de von Karman k , de la densidad del aire ρ_a , de la velocidad del viento a 2 m de altura u_2 , de la presión p , de la densidad del agua ρ_w , de la altura de medición z_2 (2 m) y de la altura de rugosidad z_0 .

$$B = \frac{0.622k^2\rho_a u_2}{p\rho_w \left[\ln \left(\frac{z_2}{z_0} \right) \right]}$$

El coeficiente de transferencia de vapor B varía de un lugar a otro.

2.11. Evapotranspiración de referencia

(Chow, V. T; Maidment, D.R. y Mayes, L. W., 1994), mencionan que la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (American Society of Civil Engineers (1973)) y Doorenbos y Pruitt (1977) han comparado los valores de evapotranspiración en diversas localidades. Concluyeron que el método de combinación es el que más se aproxima, especialmente si el coeficiente de transporte de vapor B se calibra para condiciones locales. Por ejemplo, Doorenbos y Pruitt recomendaron

$$B = 0.0027 \left(1 + \frac{u}{100} \right)$$

En la cual B está en (mm/día.Pa) y u es el recorrido del viento en 24 horas en kilómetros por día medido a una altura de 2 m.

2.12. Evapotranspiración potencial y de referencia

(Irmak, S. y Haman, D.Z., 2003), indican que el primer concepto de evapotranspiración potencial fue introducido a finales de los 1940s a 50s por Penman y este es definido como “la cantidad de agua transpirada en un tiempo dado por un cultivo verde y corto, cubriendo completamente el suelo, de altura uniforme y con adecuado estado de agua en el perfil del suelo”.

Se debe notar que en la definición de evapotranspiración potencial, el valor de evapotranspiración potencial no está relacionado a un cultivo específico. La principal confusión con la definición de evapotranspiración potencial es que allí están tipos de cultivos hortícolas y agronómicos que se adecuan a la descripción de cultivo verde corto. Así, científicos pueden ser confundidos como que cultivo a ser seleccionado para ser usado como un cultivo verde corto porque los valores de evapotranspiración desde cultivos agrícolas bien humedecidos pueden ser por lo mucho de 10 a 30% más grandes que los ocurridos desde grass verde corto (FAO, 2006).

(Irmak, S. y Haman, D.Z., 2003), la evapotranspiración de referencia es definida como “El valor de evapotranspiración desde un cultivo hipotético de referencia con una altura de cultivo asumida de 0.12 m (4.72 in), una superficie de resistencia fija de 70 seg m⁻¹ (70 seg 3.2 ft⁻¹) y un albedo de 0.23, cerradamente asemejando la evapotranspiración desde una superficie extensa de cultivo de grass verde de altura uniforme, creciendo activamente, bien humedecido, y cubriendo completamente el suelo”.

En la definición de la evapotranspiración de referencia, el grass está específicamente definido como el cultivo de referencia y este cultivo es asumido libre de estrés hídrico y de enfermedades. En la literatura los términos “evapotranspiración de referencia” y “evapotranspiración del cultivo de referencia” han sido usados intercambiamente y ellos ambos representan el mismo valor de evapotranspiración desde una superficie de grass verde corto (Raudkivi, 1979).

El concepto de evapotranspiración de referencia fue introducido por ingenieros de irrigación e investigadores a finales de los años 1970 y a inicios los 80s para evitar ambigüedades que existieron en la definición de evapotranspiración potencial. Por adopción del cultivo de referencia (grass) esto lleva a ser fácil y más práctico coeficientes de cultivo consistentes y para hacer confiable la estimación de la evapotranspiración actual del cultivo en nuevas áreas. En adición, con el uso de la evapotranspiración de referencia, es fácil seleccionar coeficientes de cultivos consistentes y para calibrar ecuaciones de evapotranspiración para un clima local dado (Doorenbos, 1977).

2.13. Modelo de regresión múltiple

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

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

El valor de \hat{y} es la estimación de $\mu_{y.x_1,x_2,\dots,x_m}$; a es la estimación de α y b_1, b_2, \dots, b_m son las estimaciones de los coeficientes de regresión parcial $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m$.

2.14. Estimación mínimo-cuadrática de la regresión múltiple

(Harnet, D.L. y Murray, J.L., 1980), mencionan que, las estimaciones mínimo-cuadráticas para la regresión múltiple se basan también en el criterio de minimizar los cuadrados de los errores (o sea, la suma de los cuadrados de los residuos). Cada residuo (e_i) es la diferencia entre y_i e \hat{y}_i .

Esto es, tenemos que minimizar la función

$$G = \sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - a_i - b_1 x_{1i} - b_2 x_{2i} - \dots - b_m x_{mi})^2$$

Se obtiene un conjunto de $(m+1)$ ecuaciones normales, que, al ser resueltas simultáneamente, nos dan las $(m+1)$ estimaciones a, b_1, \dots, b_m .

2.15. Medidas de la bondad del ajuste en la regresión múltiple

2.15.1 Coeficiente de determinación múltiple

(Harnet, D.L. y Murray, J.L., 1980), indican que, en el caso de la regresión múltiple, la medida relativa de la bondad del ajuste se denota por R^2 , para diferenciarla del coeficiente de determinación simple r^2 . Este coeficiente de determinación múltiple, R^2 , es la razón de la variación explicada por la ecuación de regresión múltiple (SCR) a la variación total de y (SCT). Se acostumbra escribir el coeficiente de determinación múltiple como $R^2_{y.x_1, x_2, \dots, x_m}$, donde la variable dependiente aparece antes del punto y las variables independientes después.

$$R^2_{y.x_1, x_2, \dots, x_m} = \frac{SCR}{SCT}$$

2.15.2. Coeficiente de correlación múltiple

(Harnet, D.L. y Murray, J.L., 1980), afirman que, en la correlación lineal múltiple, el objetivo consiste en estimar la fuerza de la relación entre una variable y y un grupo de m variables x_1, x_2, \dots, x_m . La medida que se usa con éste propósito se llama coeficiente de correlación múltiple, y se denota por el símbolo $R_{y.x_1, x_2, \dots, x_m}$.

$$R_{y.x_1, x_2, \dots, x_m} = \sqrt{R^2_{y.x_1, x_2, \dots, x_m}}$$

2.16. Pruebas en el análisis múltiple

2.16.1. Prueba mediante el análisis de varianza

(Harnet, D.L. y Murray, J.L., 1980), citan, en la regresión lineal múltiple probamos la hipótesis nula de que no existe asociación lineal en términos del coeficiente de determinación múltiple poblacional. $H_0: R^2=0$ y $H_a: R^2>0$. Si la ecuación de regresión lineal se ajusta adecuadamente a los datos, se tendrá que la variación explicada (SCR) debe ser grande en relación con la variación no explicada (SCE).

Si se divide cada una de estas cantidades de variación por sus grados de libertad, se obtienen los correspondientes cuadrados medios. El cociente entre el cuadrado medio explicado (CMR) y el no explicado (CME) tiene una distribución F. En la regresión múltiple es necesario estimar $(m+1)$ parámetros sobre la base de las n observaciones, de modo que la variación no explicada tendrá $n-(m+1)$ grados de libertad.

El número de grados de libertad de la variación explicada es igual al número de variables independientes (m). La variación total tiene siempre $(n-1)$ grados de libertad.

Cuadro 1. Analisis de la varianza (ANOVA) para la regresion multiple

Fuente de variación	Suma de cuadrados	G. de L	Cuadrado medio
Regresión múltiple	SCR	M	SCR/m = CMR
Residuo	SCE	n-m-1	SCE/(n-m-1) =CME
Total	SCT	n-1	

El estadístico adecuado para docimar la dócima de significación de la ecuación de regresión múltiple tiene una distribución F con m y (n-m-1) grados de libertad:

$$F_{(m,n-m-1)} = \frac{CMR}{CME}$$

2.16.2. Pruebas referentes a un parámetro particular

(Harnet, D.L. y Murray, J.L., 1980), se refieren que, la hipótesis nula $H_0: \beta_i=0$ significa que la variable x_i no tiene una relación lineal significativa con y cuando se mantiene constante el efecto de las otras variables independientes. El mejor estimador lineal insesgado de β_i es el coeficiente muestral b_i de la regresión parcial. Bajo el supuesto de que los errores aleatorios se distribuyen normalmente, el estadístico adecuado para docimar esta hipótesis nula tiene una distribución t con (n-m-1) grados de libertad y es

$$t_{(n-m-1)} = \frac{b_i - 0}{s_{b_i}}$$

En ésta expresión, s_{b_i} es el error estándar estimado de b_i . El cálculo de s_{b_i} es bastante tedioso, pero puede obtenerse rápidamente su valor utilizando algún programa de computador referente al análisis de regresión. Así, en las aplicaciones prácticas, la determinación de t se efectúa simplemente dividiendo el coeficiente entre su error estándar estimado. Cuando este valor calculado de t es mayor que el valor crítico $t_{(\alpha;n-m-1)}$, puede rechazarse la hipótesis nula. Se llegaría así a la conclusión de que la variable x_i tiene una influencia importante sobre la variable dependiente y aún después de tomar

en cuenta la influencia de todas las otras variables independientes incluidas en el modelo.

2.17. Método de Penman-Monteith

(Allen; Pereira, L.; Raes, D. and Smith, M., 1998), afirman que, el método de FAO Penman-Monteith, puede ser derivado de la ecuación original de Penman-Monteith y las ecuaciones de la resistencia aerodinámica y superficial.

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)}$$

Donde:

ET_o = evapotranspiración de referencia (mm día^{-1}); R_n = radiación neta en la superficie del cultivo ($\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$); R_a = radiación extraterrestre (mm día^{-1}); G = flujo del calor de suelo ($\text{MJ MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$); T = temperatura media del aire a 2 m de altura ($^{\circ}\text{C}$); u_2 = velocidad del viento a 2 m de altura (m s^{-1}); e_s = presión de vapor de saturación (kPa); e_a = presión real de vapor (kPa); $e_s - e_a$ = déficit de presión de vapor (kPa); Δ = pendiente de la curva de presión de vapor ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$); γ = constante psicrométrica ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$).

La evapotranspiración de referencia (ET_o) provee un estándar de comparación mediante el cual, se puede comparar la evapotranspiración en diversos períodos del año o en otras regiones; y se puede relacionar la evapotranspiración de otros cultivos.

La ecuación utiliza datos climáticos de radiación solar, temperatura del aire, humedad y velocidad del viento. Para asegurar la precisión del cálculo, los datos climáticos deben ser medidos o ser convertidos a 2 m de altura, sobre una superficie extensa de pasto verde, cubriendo completamente el suelo y sin limitaciones de agua.

2.18. Modelo de regresión por Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO)

(Wooldridge, 2009), también considera que uno de los procedimientos más conocidos es el denominado Estimador de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO). Este procedimiento plantea utilizar, como estimación de los parámetros, aquella combinación de $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ que minimice los errores que el modelo cometerá. ¿Qué significa esto?. Está claro que, si dispusiéramos a priori de los parámetros estimados podríamos escribir el MBRL NO como:

$$y_i = \beta_1 + \beta_2 x_{2i} + \beta_3 x_{3i} + \dots + \beta_k x_{ki} + U_i$$

Sino como:

$$\hat{y}_i = \hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_2 x_{2i} + \hat{\beta}_3 x_{3i} + \dots + \hat{\beta}_k x_{ki}$$

y, por tanto, podríamos computar el error o residuo que el modelo comete en la estimación de cada valor de la endógena comparando, de forma inmediata, el valor real de la endógena en cada observación con el valor estimado:

$$\begin{aligned} e_i &= y_i - \hat{y}_i = \\ &= y_i - (\hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_2 x_{2i} + \hat{\beta}_3 x_{3i} + \dots + \hat{\beta}_k x_{ki}) \end{aligned}$$

Este error dependería, evidentemente, del valor asignado a las estimaciones de los parámetros β ; pues bien, el método de MCO sugiere utilizar aquella combinación de parámetros estimados que minimice la suma al cuadrado de todos los errores cometidos para las “n” observaciones disponibles:

$$\hat{\beta}_{MCO} \rightarrow \min(S) = \min \sum_{i=1}^n (e_i)^2$$

Para obtener algebraicamente una expresion de calculo operativa para los estimadores MCO, procedemos de la siguiente forma:

Procedimiento 01: Derivación NO MATRICIAL de la expresión de los estimadores MCO, La expresión a minimizar es:

$$(S) = \sum_{i=1}^n (e_i)^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{\beta}_1 - \hat{\beta}_2 x_{2i} - \hat{\beta}_3 x_{3i} - \dots - \hat{\beta}_k x_{ki})^2$$

Para obtener los valores de cada uno de los “k” parámetros $\hat{\beta}_j$ que minimizan esta expresión derivamos con respecto a cada uno de ellos e igualamos a cero, obteniendo “k” expresiones del tipo:

$$\frac{\partial(S)}{\partial \hat{\beta}_j} = 2 \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{\beta}_1 - \hat{\beta}_2 x_{2i} - \hat{\beta}_3 x_{3i} - \dots - \hat{\beta}_k x_{ki}) \cdot (-x_{ji}) = 0$$

Estas expresiones, se denominan “ecuaciones normales”. En este sistema de las ecuaciones normales las incógnitas son los parámetros $\hat{\beta}_j$ a estimar y los valores conocidos son los datos muestrales recogidos de la “y” y de las “x”. Observadas una a una, para cada parámetro, las expresiones de las ecuaciones normales son:

$$\sum_{i=1}^n y_i x_{1i} = \hat{\beta}_1 \sum_{i=1}^n x_{1i} x_{1i} + \hat{\beta}_2 \sum_{i=1}^n x_{2i} x_{1i} + \hat{\beta}_3 \sum_{i=1}^n x_{3i} x_{1i} + \dots + \hat{\beta}_k \sum_{i=1}^n x_{ki} x_{1i}$$

$$\sum_{i=1}^n y_i x_{2i} = \hat{\beta}_1 \sum_{i=1}^n x_{1i} x_{2i} + \hat{\beta}_2 \sum_{i=1}^n x_{2i} x_{2i} + \hat{\beta}_3 \sum_{i=1}^n x_{3i} x_{2i} + \dots + \hat{\beta}_k \sum_{i=1}^n x_{ki} x_{2i}$$

$$\sum_{i=1}^n y_i x_{3i} = \hat{\beta}_1 \sum_{i=1}^n x_{1i} x_{3i} + \hat{\beta}_2 \sum_{i=1}^n x_{2i} x_{3i} + \hat{\beta}_3 \sum_{i=1}^n x_{3i} x_{3i} + \dots + \hat{\beta}_k \sum_{i=1}^n x_{ki} x_{3i}$$

$$\sum_{i=1}^n + \dots + \dots + \dots + \dots + \dots + \dots$$

$$\sum_{i=1}^n y_i x_{ki} = \hat{\beta}_1 \sum_{i=1}^n x_{1i} x_{ki} + \hat{\beta}_2 \sum_{i=1}^n x_{2i} x_{ki} + \hat{\beta}_3 \sum_{i=1}^n x_{3i} x_{ki} + \dots + \hat{\beta}_k \sum_{i=1}^n x_{ki} x_{ki}$$

Lo que, teniendo en cuenta las expresiones matriciales del vector endógeno “Y” y de la matriz de variables exógenas “X”, puede expresarse matricialmente como:

$$X'Y = X'X\hat{\beta}$$

De donde se obtiene fácilmente (“despejando”) la expresión final matricial del vector de parámetros estimados $\hat{\beta}$:

$$\begin{aligned} X'Y &= X'X\hat{\beta} \\ (X'X)^{-1} X'Y &= (X'X)^{-1} X'X\hat{\beta} \\ \hat{\beta} &= (X'X)^{-1} X'Y \end{aligned}$$

Procedimiento 2: Derivación MATRICIAL de la expresión de los estimadores MCO

Puede comprobarse cómo podríamos haber planteado el desarrollo de la expresión de los estimadores la estimación utilizando exclusivamente álgebra matricial. Efectivamente, la minimización de residuos puede plantearse a partir del vector de residuos “e” como:

$$\begin{aligned} \min(e'e) &= \min((Y - X\hat{\beta})(Y - X\hat{\beta})) = \min(Y'Y - Y'X\hat{\beta} - \hat{\beta}'X'Y + \hat{\beta}'X'X\hat{\beta}) \\ \min(e'e) &= \min((Y - X\hat{\beta})(Y - X\hat{\beta})) = \min(Y'Y - Y'X\hat{\beta} - \hat{\beta}'X'Y + \hat{\beta}'X'X\hat{\beta}) \\ &= \min(Y'Y - 2\hat{\beta}'X'Y + \hat{\beta}'X'X\hat{\beta}) \end{aligned}$$

Obsérvese cómo los productos matriciales $Y'X\hat{\beta}$ y $\hat{\beta}'X'Y$ son en realidad el mismo e iguales a un escalar: efectivamente, la primera expresión es la transpuesta de la segunda y dado que el orden de cada una de ellas es (1x1), es decir, un escalar, estamos viendo en realidad dos expresiones equivalentes del mismo número (escalar). Así pues,

podemos escribir $Y'X\beta + \beta'X'Y$ como $2Y'X\beta$ ó bien cómo $2\beta'X'Y$ de modo que

tenemos: $\min(e'e) = \min(Y'Y - 2\hat{\beta}'X'Y + \hat{\beta}'X'X\hat{\beta})$

Ara resolver ahora la minimización, recurrimos de nuevo al concepto de derivada (necesariamente parcial) para lo que, en el caso de las matrices, debemos recordar una propiedad de utilidad: para cualquier par de matrices A y B se cumple que:

2.19. Estimadores de Máxima Verosimilitud (MV)

Según (Wooldrigge, 2009), indica que una segunda aproximación consiste en utilizar lo que se conoce como planteamiento de estimación máximo verosímil. La idea del estimador máximo verosímil es sencilla de intuir. Un estimador MV de un parámetro desconocido es aquel valor que maximizaría la probabilidad de observar una determinada muestra obtenida suponiendo una serie de hipótesis de partida.

Para determinar un estimador MV debemos ser capaces de:

Determinar con claridad las hipótesis relativas a la distribución teórica del parámetro en la población. Expresar matemáticamente la probabilidad de obtener una determinada muestra, en función de las hipótesis asumidas, de modo que esa expresión sea matemáticamente “maximizable” en función del parámetro muestral de interés.

En nuestro caso, este planteamiento propone utilizar como estimadores de los parámetros aquel conjunto de parámetros poblacionales β que haría más probable observar una muestra de errores como los que nos hemos propuesto: normales, con media nula y varianza constante. Es decir, un conjunto de errores que van a distribuirse conforme a una determinada función de densidad conjunta con una determinada media y desviación típica.

Entre las hipótesis básicas formuladas para el MIBRL establecimos que nuestros errores “U” seguirían una distribución normal con media nula y varianza constante, es decir: $u_i \rightarrow N(0, \sigma^2)$, o bien para todo el vector de perturbaciones aleatorias:

$$U \rightarrow N(0, \sigma^2 I)$$

Así pues, la función de densidad de cada uno de los errores será:

$$f(u_i) = \frac{1}{\sqrt{\sigma^2}} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{u_i^2}{\sigma^2}\right)$$

Por lo que, tomando la función de densidad conjunta para cualquier normal multivariante tenemos que:

$$L = f(u) = \prod_{i=1}^n f(u_i) = (2\pi)^{-n/2} (\sigma^2)^{-n/2} \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{\sum_{i=1}^n u_i^2}{\sigma^2}\right)$$

Se trata, por tanto, de obtener el conjunto de parámetros $\hat{\beta}$ que hacen máxima la función (probabilidad) de densidad conjunta:

$$\max(L) = \max\left(\prod_{i=1}^n f(u_i) = (2\pi)^{-n/2} (\sigma^2)^{-n/2} \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{\sum_{i=1}^n u_i^2}{\sigma^2}\right)\right)$$

Con el fin de computar la derivada parcial de esa expresión “L” con respecto a los parámetros estimados, linealizamos la expresión obteniendo:

$$\ln(L) = -\frac{n}{2} \ln(2\pi) - \frac{n}{2} \ln \sigma^2 - \frac{1}{2\sigma^2} U'U$$

o lo que es igual, considerando ahora errores muestrales y no las perturbaciones aleatorias poblacionales:

$$Ln(L) = -\frac{n}{2} \ln(2\pi) - \frac{n}{2} \ln \sigma^2 - \frac{1}{2\sigma^2} e'e$$

$$Ln(L) = -\frac{n}{2} \ln(2\pi) - \frac{n}{2} \ln \sigma^2 - \frac{1}{2\sigma^2} (y - X\hat{\beta})(y - X\hat{\beta})$$

Es evidente que maximizar esta probabilidad con respecto a $\hat{\beta}$ implica minimizar el último de los sumandos, esto es:

$$\max[Ln(L)] \rightarrow \min[(y - X\hat{\beta})(y - X\hat{\beta})]$$

CAPITULO III.

MATERIALES Y METODOS

3.1. Ubicación Geográfica

La cuenca del río Ramis tiene la siguiente ubicación geográfica:

Coordenadas Geográficas:

Latitud Sur : 14°03'26.6" - 15°27'33.7"

Longitud Oeste : 69°25'26.4" - 71°07'4.7"

Coordenadas UTM (WGS84)

Norte : 8'445,867.41 – 8'289,725.28

Este : 454,221 – 272,732.8 Variación

Altitudinal : 5,334 – 3,800 m.s.n.m

3.2. Ubicación Hidrográfica

Hidrográficamente la cuenca del río Ramis pertenece a la Hoya del Lago Titicaca y tiene los siguientes límites:

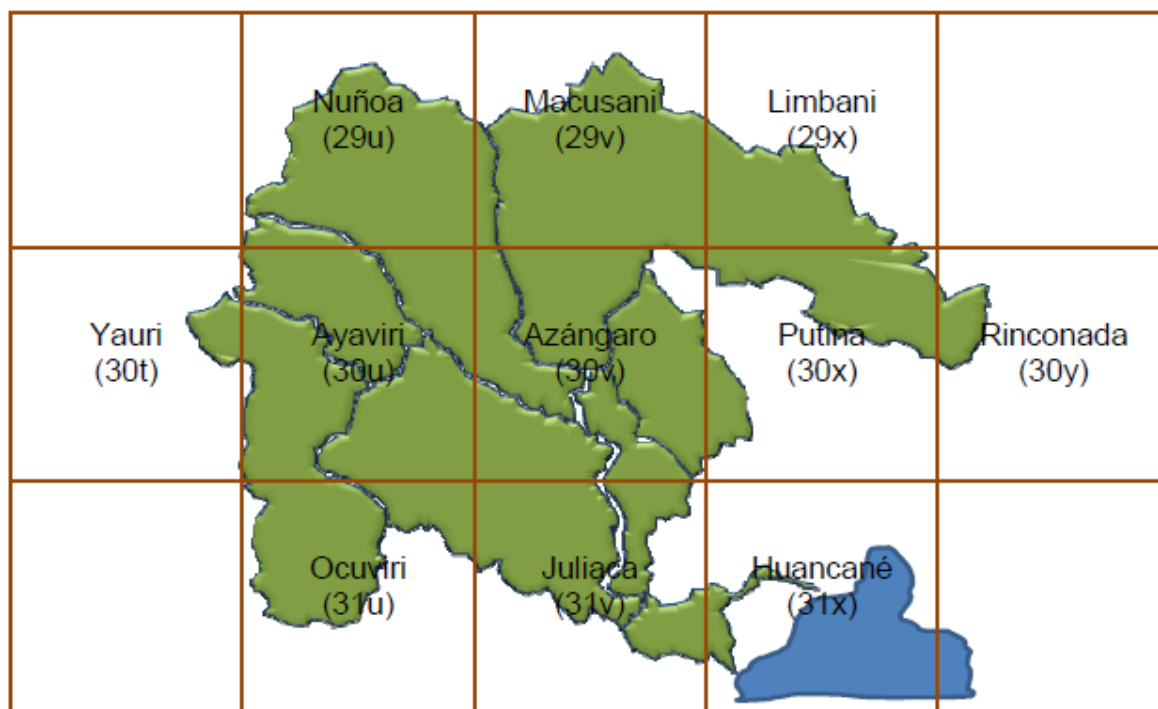
Norte: con la cuenca del río Vilcanota e Inambari,

Este: con la cuenca del río Suches y Huancané,

Sur: con parte del Lago Titicaca y cuenca del río Coata,

Oeste: con las cuencas de los ríos Apurímac y Colca.

Figura 01. Conformación de Subcuencas de la cuenca del río Ramis



3.3. Ubicación Política

La superficie de la cuenca del río Ramis, políticamente se encuentra dentro de la Región Puno, abarca las provincias de Azángaro, Carabaya, Lampa, Melgar y San Antonio de Putina. La descripción política presentada en el presente estudio corresponde a la delimitación existente en la Carta Nacional (INRENA, 2008).

3.4. Vías de Comunicación

La principal arteria en la cuenca del río Ramis es la vía que une las capitales de las Regiones de Puno y Cusco con una longitud pavimentada dentro de la cuenca de 762 Km. Esta se constituye en un eje de desarrollo dado que atraviesa los poblados de Calapuja, Pucara, Ayaviri, Chuquibambilla y Santa Rosa dentro de la cuenca. Esta vía es clasificada como una vía de 2do orden y tiene una dirección de sur a norte. Luego se cuenta con otra vía denominada carretera transoceánica la misma que une las capitales de las regiones de Puno y Puerto Maldonado, esta presenta tramos pavimentados y

afirmados estando actualmente en proceso de ejecución. Esta carretera pasa por los pueblos de Azángaro, Asillo, Progreso, San Antón, Antauta y Macusani dentro de la cuenca.

Esta vía es clasificada como una vía de 2do y 3er orden y tiene una dirección de Oeste a Noreste. Del mismo modo se puede encontrar dentro de la cuenca carreteras de 3er y 4to orden que unen las capitales de distritos y otros pueblos de importancia y entre ellas podemos citar como las más importantes : La carretera Ayaviri - Azángaro, Chuquibambilla – Ocuvi, Ayaviri – Ananea, Ananea – Crucero, Ayaviri – Nuñoa, etc.

También la cuenca presenta caminos de herradura que permiten la conexión entre los poblados menores y otras que derivan de las carreteras de 3er orden y las complementan adecuadamente. Finalmente se cuenta con la vía férrea que une las capitales de las regiones de Puno y Cusco que es de propiedad de PERU Rail S.A. atravesando poblados como Santa Rosa, Chuquibambilla, Ayaviri, José Domingo Choquehuanca y Calapuja dentro de la cuenca (INRENA, 2008).

3.5. Geomorfología

La geomorfología es la disciplina geográfica que estudia los fenómenos que han configurado la superficie terrestre como resultado de un balance dinámico —que evoluciona en el tiempo entre procesos constructivos y destructivos. Habitualmente la geomorfología se centra en el estudio de las formas del relieve, pero dado que estos son el resultado de la dinámica geográfica en general estudia, como insumos, por un lado, fenómenos atmosféricos y climáticos, hidrográficos, pedológicos y, por otro, biológicos y geológicos. Esta disciplina es estudiada en mayor o menor medida dentro de la geografía, la arqueología, la geología, la ingeniería civil y ambiental.

“El altiplano y las cordilleras que lo rodean son el resultado de una evolución estructural larga e intensa, que llega hasta tiempos muy recientes, con fenómenos de levantamiento y vulcanismo muy activos.

. En particular, el altiplano es el resultado del relleno de una fosa tectónica que puede ser localizada incluso en el cretáceo, que ha recibido grandes cantidades de materiales clásticos, en gran parte continentales y Vulcano – sedimentarios, acumulados en espesores fuertes y poco cementados.

La actividad estructural reciente ha deformado estos depósitos, creando las serranías que se encuentran en el interior del altiplano, constituidas por materiales fácilmente erosionables, y zonas endorreicas de acumulación, sujetas a inundaciones y embalses de agua.

La actividad de levantamiento reciente y todavía en curso ha determinado una dinámica laboriosa de la hidrografía superficial, con variaciones en la forma y localización de las zonas deprimidas; en consecuencia, los depósitos recientes, poco consolidados, se ven expuestos a un ataque intenso. La misma actividad de levantamiento ha favorecido el desarrollo de un retículo de drenaje bien organizado y bien denso, a lo largo del cual se realizan los fenómenos tanto erosivos como de deposición. En efecto, a lo largo de todos los tramos fluviales se notan trazas de una acción erosiva continua, asociadas con áreas de depósitos y embalse de agua.

Esta situación es consecuencia del régimen fluvial, el cual, durante la estación húmeda, presenta crecidas que determinan el transporte veloz de grandes cantidades de materiales, mientras que en la estación seca el agua tiende a embalsarse en las zonas llanas, incluso en el interior de los valles.

El clima de todo el altiplano contribuye a acentuar los efectos de los fenómenos vinculados a la dinámica fluvial y a los procesos erosivos. En efecto, las lluvias son breves y violentas, concentradas en un periodo de poco más de tres meses. Esto determina una fuerte erosión y transporte sólido de los relieves e, igualmente, inundaciones y depósitos en las áreas deprimidas, resultado de eventos a menudo catastróficos. Durante el resto del año el clima es seco y frío, con heladas nocturnas, que favorecen la disgregación de las rocas, y viento fuerte y frecuente.” [Estudio TDPS].

3.6. Hidrografía

La cuenca del río Ramis presenta dos ejes principales de drenaje –ríos Ayaviri y Azángaroque se unen para formar el río Ramis a 60.15 Km. del Lago Titicaca. La cuenca posee una Superficie total de 14,705.89 Km². Dentro de la cual se incluyen las cuencas del río: Ramis –propriadamente dicho– con 347.57 Km² (2%), la del Ayaviri con 5,572.58 Km² (38%) y la del Azángaro con 8,785.73 Km² (60%).

La configuración general de la gran cuenca del Ramis es la de una hoya hidrográfica de fondo plano y de reducida pendiente que se extiende, por el Norte y Nor-Este, hasta los flancos de la Cordillera Oriental y, por el Sur, hasta las orillas del Lago Titicaca y la divisoria que lo separa de la cuenca del Coata.

Salvo en las pequeñas áreas correspondientes a sus nacientes, los ríos Ayaviri y Azángaro discurren por zonas caracterizadas por su topografía plana, las que por su altitud reciben el nombre de Altiplano. Esta característica ha dado origen a la formación de numerosas lagunas, algunas de las cuales son alimentadas por los deshielos de los nevados y otras son consecuencia del almacenamiento de las aguas de precipitación.

El río Ramis propiamente dicha nace en la confluencia de los ríos Ayaviri —Pucara en el tramo final— y Azángaro en el sector de Achaya a 6 Km. al Este de la localidad de Calapuja y a 3,845 msnm. Discurre 60.15 Km. en dirección Oeste-Este y desemboca al Lago Titicaca a 3,802 msnm. Por consiguiente, la pendiente media es de 0.0007, la que es causa de que el curso del río presente una serie de meandros.

El río Ayaviri, formador por la margen derecha del río Ramis, se forma de la unión de los ríos Santa Rosa y Llallimayo. El río Santa Rosa nace en las faldas del nevado Kunurana y del lugar denominado La Raya, en la divisoria con las nacientes del río Urubamba, a una altura de 3,895 msnm. Se une al río Azángaro, para formar el Ramis, en la cota 3,845 msnm., después de discurrir una longitud de 170 Km.

El principal afluente del río Ayaviri es el río Llallimayo, que tiene sus nacientes del río Lamparasi y Ocuvi en la cota 4,500 msnm. y que después de un recorrido de 64 Km., vierte sus aguas al mencionado río, a una altura de 3,895 msnm., siendo su pendiente promedio de 1.1 % .

La pendiente media es de 0.0003, es decir, menos de la mitad de la del Ramis. La superficie de su cuenca es de 5, 572.58 Km², y representa el 38% de la cuenca total del Ramis.

El río Azángaro es formador del río Ramis por su margen izquierda. Nace de la unión de los ríos Nuñoa o Grande y del Carabaya, la que se ubica aproximadamente a 7 Km. al Nor-Este de la localidad de Asillo, a una altura, de 3,890 msnm. A partir de esta unión, el río Azángaro después de un recorrido de 6 Km. a lo largo del cual recibe las aguas de las lagunas de Jallapise, por su margen derecha y de Turupampa y Sutunda, por su izquierda, se une con el Ayaviri en la cota 3,845 msnm. Para formar el río Ramis. Su

pendiente promedio es del orden de 0.0075, y la superficie de su cuenca es de 8,785.73 Km², equivalente al 60% de la cuenca del río Ramis.

El río Nuñoa o Grande tiene sus nacientes cercanas a los nevados de Quellopujo, Characharani y Quellococha, en la cota aproximada de 4,750 msnm. y una longitud de 78 Km. con una pendiente media de alrededor de 0.012.

El río Crucero, principal afluente y formador del río Azángaro, nace en la cota 4.800 msnm. cerca de la localidad de Pofo, al pie de los nevados de Ananea. Su longitud es de 122 Km. y su pendiente promedio hasta su confluencia con el río Nuñoa es de 0.0075. Cabe anotar, dentro de la hidrografía de la cuenca, la existencia de la laguna Arapa, ubicada en la zona de la margen izquierda del río Ramis, cuyo desagüe al Lago Titicaca se confunde en un solo pantano con los desagües de los ríos Ramis y Huancané.

3.7. Sistema Hidrográfico

La denominación de las unidades hidrográficas circunscritas al área de la cuenca del río Ramis se ha realizado en función de su extensión y nombre de sus cursos de agua finales o ríos; estableciéndose ocho (08) unidades hidrográficas básicas o subcuencas. Ver Tabla N° 3.1. En la Figura N° 3.6 se presenta la divisoria de las subcuencas. Para la selección de las subcuencas se ha utilizado los siguientes criterios: el orden de los ríos y el sistema hidráulico existente para el aprovechamiento de las fuentes de agua superficial. Vale decir que con fines de que los resultados del presente estudio sean compatibles con los resultados obtenidos en el “Estudio Integral de los Recursos Hídricos de la Cuenca del Río Ramis” realizado en el 2003, se ha utilizado el mismo método de subdivisión de las subcuencas hidrográficas.

Cuadro 2. Sub Unidades Hidrográficas (Subcuencas) - Cuenca del río Ramis

Item	Unidad Hidrográfica	Denominación	Río Principal	Superficie(km2)	%	Número de orden
1	Subcuenca	Ayaviri	Tramo Río Ayaviri	2,668.36	18.14	6
2	Subcuenca	Azángaro	Tramo Río Azangaro	676.41	4.6	6
3	Subcuenca	Crucero	Río Crucero	4,396.29	29.89	5
4	Subcuenca	Llallimayo	Río Llallimayo	1,970.77	13.4	5
5	Subcuenca	Nuñoa	Río Nuñoa	2,763.19	18.79	6
6	Subcuenca	Ramis	Tramo Río Ramis	347.58	2.36	7
7	Subcuenca	San José	Río Quilmayo	949.83	6.46	5
8	Subcuenca	Santa Rosa	Río Santa Rosa	933.45	6.35	5
9	Cuenca	Ramis	Río Ramis	14,705.89	100	6

Fuente: SENAMHI

3.7.1. Subcuenca Ayaviri

Tiene un área de 2668.36 Km² con un perímetro de 297.75 Km., su parte más elevada está en la cota 5,100 msnm. en el cerro Sapansalla y su parte más baja se ubica en la cota 3,825 msnm. donde el río Ayaviri confluye con el río Azángaro, formando el río Ramis, se ubica entre las coordenadas Este de 300814 a 375340 y Norte de 8301125 a 8377292. La longitud total del río principal es de 152.24 Km. resultando una pendiente media de 0.0003, presenta una dirección Sureste y tiene un tipo de drenaje sub dendrítico. El número de orden de la subcuenca es 6. Los ríos principales de la subcuenca son: el río Ayaviri, Cahuasiri – Puncu Puncu, Vilacarca, Umachiri, Condormilla; Actani, Vilcamayo, Machacmarca y Sora y como laguna principal es la laguna de Tantani.

3.7.2. Subcuenca Azángaro

Tiene un área de 676.41 Km² con un perímetro de 177.14 Km., su parte más elevada está en la cota 4,560 msnm. y se ubica en el cerro Veluyo y su parte más baja se ubica en la cota 3,825 msnm. donde confluye con el río Ayaviri, para formar el río Ramis. Se ubica entre las coordenadas Este de 357851 a 386192 y Norte de 8308975 a 8367970.

La longitud total del río principal es de 94.28 Km. resultando una pendiente media de 0.0002. Presenta una dirección Sureste a Sur y tiene un tipo de drenaje Sub dendrítico.

El número de orden de la Subcuenca es 6. Los ríos principales de la Subcuenca son: el río Azángaro, Arreromayo, Yanamayo y Chuñojani y las lagunas de importancia son: Quearia, Quequerani y San Juan de Salinas.

3.7.3. Subcuenca Crucero

Esta Subcuenca tiene un área de 4,396.29 Km², con un perímetro de 462 Km., su parte más elevada está en la cota 5,750 msnm y se ubica en el nevado Ananea Chico y su parte más baja se ubica en la cota 3,875 msnm. Donde confluye con el río Nuñoa, se ubica entre las coordenadas Este de 339513 a 454336 y Norte de 8366395 a 8445589.

El río principal toma diferentes nombres en su recorrido desde sus orígenes así tenemos que en la parte alta se denomina río Grande, en la parte media río Crucero y en su parte baja río San Anton. La longitud total del río principal es de 209 Km., resultando una pendiente media de 0.0027, presenta una dirección de Noroeste, Suroeste y Sur. Tiene un drenaje sub dendrítico. El número de orden de la Subcuenca es 5. Los ríos principales de la Subcuenca son: el río Crucero, Antauta, Ajoyani, San Juan, Cecilia, Billón, Inambari y las lagunas de importancia son: Pacharia, Saracocha, Aricoma, Rinconada, Suytucocha, Casa Blanca, Sillacunca (represada), y Ticllacocha. Como nevados principales tenemos al nevado Ananea Chico, Callejón y Ananea Grande.

3.7.4. Subcuenca Llallimayo

Tiene un área de 1970.77 Km² con un perímetro de 283.88 Km., su parte más elevada está en la cota 5,327 msnm. en el nevado de Lamparasi y su parte más baja se ubica en la cota 3,875 msnm. donde el río Llallimayo confluye con el río Santa Rosa. Se ubica

entre las coordenadas Este de 271887 a 314201 y Norte de 8300863 a 8385821. La longitud total del río principal es de 84.51 Km. resultando una pendiente media de 0.0051, presenta la dirección Este y tiene un tipo de drenaje dendrítico. El número de orden de la Subcuenca es 5. Los ríos principales de la Subcuenca son: el río Llallimayo, Cupimayo, Macarimayo, Turmana, Jayllahua, Sayna, Selque, Cachiunu, Ocuwiri, Vilcamarca, Surapata y Hatunayllu, como lagunas principales tenemos: laguna Chullpia (Transvasado de la cuenca del Apurimac), Iniquilla, Saguanani, Matarcocha y Calera, como nevados principales tenemos a los nevados de Lamparasi, Oscollani y Quilca.

3.7.5. Subcuenca Nuñoa

Tiene un área de 2,763.19 Km² con un perímetro de 325.14 Km., su parte más elevada está en la cota 5,550 msnm. y se ubica en el nevado Junurana y su parte más baja se ubica en la cota 3,875 msnm. donde confluye con el río Crucero, Se ubica entre las coordenadas Este 285817 a 361549 y Norte 8353229 a 8443335. La longitud total del río principal es de 140.18 Km. resultando una pendiente media de 0.0076, presenta una dirección Sureste. El tipo de drenaje es Dendrítico. El número de orden de la Subcuenca es 5. Los ríos principales de la Subcuenca son: el río Nuñoa, Quenamari, Viluyo, Parina, Achaco, Hatunmayo, Patiani, Antacalla, Totorani, Palca, Huayco, Saluyo, Jurahuiña, Chillipalca, Llonccarca, Challuta, Pite, Piscotira y las lagunas de importancia son: Ututo, Ñequecota, Humamanca, Quellacocha, Qomercocha, Caycopuncu, Jillocota y como nevados principales tenemos al Ñequecota, Olloquenamari, Quellma, Junurana, Sapanota, Pumanota, Cuchocucho, Culi, Canta Casa.

3.7.6. Subcuenca Ramis

Tiene un área de 347.58 Km² con un perímetro de 140.50 Km., su parte más elevada está en la cota 4,350 msnm. en el cerro denominado Iniquito y su parte más baja se ubica en la cota 3,802 msnm. donde el río Ramis desemboca al lago Titicaca, Se ubica entre las coordenadas Este de 370496 a 412783 y Norte de 8290626 a 8315898. La longitud total del río principal es de 60.15 Km. resultando una pendiente media de 0.0007. Presenta una dirección Oeste a Sur-Este y tiene un tipo de drenaje sub paralelo. El número de orden de la Subcuenca es 7. En esta Subcuenca prácticamente no se tienen fuentes hídricas aportantes, el río Ramis

En este sector es básicamente un cauce de conducción de los ríos Azángaro y Ayaviri. Sin embargo, se tiene pequeñas quebradas y lagunas como la laguna Choccatcha y Chillincha.

3.7.7. Subcuenca San José

Tiene un área de 949.83 Km² con un perímetro de 161.50 Km., su parte más elevada está en la cota 5,162 msnm. y se ubica en el nevado Surapana y su parte más baja se ubica en la cota 3,850 msnm. donde confluye con el río Azángaro, Se ubica entre las coordenadas Este de 365497 a 399791 y Norte de 8340303 a los 8393307. La longitud total del río principal es de 70.59 Km. resultando una pendiente media de 0.0037. Presenta una dirección Noreste a Suroeste y tiene un tipo de drenaje sub paralelo. El número de orden de la Subcuenca es 5. Los ríos principales de la Subcuenca son: el río San José, Condoriri, Tintiri, Santa Ana, Quilcamayo, Jacara, Pirhuani, Lagoni, Carpani y Pariani. y las lagunas de importancia son: Alta gracia y Salinas, como nevados principales se tiene al nevado de Surpana.

3.7.8. Subcuenca Santa Rosa

Tiene un área de 933.45 Km² con un perímetro de 167 Km., su parte más elevada está en la cota 5,450 msnm. en el nevado Chimboya y su parte más baja se ubica en la cota 3,875 msnm. donde confluye con el río Llallimayo haciendo el río Ayaviri, Se ubica entre las coordenadas Este de 282632 a 324871 y Norte de 8363259 a los 8406383. La longitud total del río principal es de 86.88 Km., resultando una pendiente media de 0.0021, presenta una dirección Sureste y tiene un tipo de drenaje sub dendrítico. El número de orden de la Subcuenca es 5. Los ríos principales de la Subcuenca son: el río Santa Rosa, Parina, Achaco, Chosicani, Inkañan, Vilacota, y los nevados de importancia son el nevado Kunurana y Chimboya.

3.8. Información meteorológica

En el presente trabajo, se utilizó datos de registros meteorológicos de la oficina del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología SENAMHI de un promedio no menor de 25 años de serie de datos meteorológicos consistentes en información de: Temperaturas máximas; Temperaturas mínimas; Humedad relativa; Evaporación mensual medida en tanque clase A; Radiación solar; y Velocidad del viento.

De Los Trece Estaciones Meteorológicos solamente una es de categoría de climatología principal y tres estaciones meteorológicas es de categoría de climatología pluviométrica y nueve estaciones son de categoría de climatología ordinaria.

Cuadro 3. Estaciones meteorológicas en la cuenca Ramis (Fuente SENAMHI)

Nro.	CODIGO	TIPO	ESTACION	DISTRITO	LAT. SUR	LONG. OESTE	PROP.	OPER.
01	012103	CO	AYAVIRI	AYAVIRI	14°52'21.6"	70°35'34.4"	SENAMHI	SI
02	012104	CO	AZANGARO	AZANGARO	14°54'51.7"	70°11'26.7"	SENAMHI	SI
03	012106	CO	CRUCERO	CRUCERO	14°21'44.4"	70°01'24.7"	SENAMHI	SI
04	012107	CO	LLALLI	LLALLI	14°56'11.5"	70°53'09.4"	SENAMHI	SI
05	012112	CO	SANTA ROSA	SANTA ROSA	14°37'25.5"	70°47'11.5"	SENAMHI	SI
06	012105	CP	CHUQUIBAMBILLA	UMACHIRI	14°47'05.2"	70°42'56.5"	SENAMHI	SI
07	012108	PLU	NUNOA	NUNOA	14°29'00"	70°38'00"	SENAMHI	NO

CP : Climatológica Principal

CO : Climatológica Ordinaria

PLU : Pluviométrica

Se utilizó las cartas nacionales a escala 1:100 000.

3.9. Metodología

Se realizó el modelamiento de la evapotranspiración de referencia en función de las variables meteorológicas más relevantes con una regresión que da buenos estimadores, se tomó como evapotranspiración de referencia observada la obtenida por el método del tanque clase A.

Se realizó las pruebas de bondad de ajuste del modelo como es el análisis de varianza de regresión y la prueba t para cada coeficiente, para un mejor ajuste se aplicará de ser necesario el método de estimación de parámetros por máxima verosimilitud. Posteriormente se comparó con los resultados de la aplicación de fórmulas tradicionales para evaluar las ventajas de ajuste del modelo.

3.10. Calculo de Evapotranspiración potencial

El método de Penman – Monteith puede considerarse como el método estandar de todos los métodos combinados para estimar la evapotranspiración (ET) del cultivo de

referencia. La mayoría de los métodos combinados presentan ligeras dependiendo del tipo de cultivo y de la localización de los instrumentos meteorológicos. Por esta razón, el método de Penman – Monteith utiliza términos como la resistencia aerodinámica del follaje para relacionar la altura de los instrumentos meteorológicos con la altura del cultivo y la resistencia estomática a la transpiración mínima que dependerá del tipo de cultivo y de su altura.

La ecuación de Penman – Monteith se define:

ET = ET radiación + ET aerodinámica

La ecuación final es:

$$ET_o = \left[\frac{\Delta}{\Delta + \gamma^*} (R_n - G) \frac{10}{L} + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma^*} \frac{90}{T + 275} u_2 (e_s - e_a) \right]$$

Donde:

ET_o = evapotranspiración del cultivo de referencia (mm/día)

γ^* = constante psicométrica modificada utilizada en el método de Penman-Monteith (mbar/C)

$e_s - e_a$ = déficit de presión de vapor (mb)

e_s = presión de vapor a saturación a la temperatura promedio del aire (mb)

e_a = presión de vapor tomada a la temperatura a punto de rocío (mb)

L = calor latente de vaporización (cal/gr)

Δ = pendiente de la curva de presión de la saturación de vapor a una temperatura específica (mbar/°C)

γ = constante psicometrica

R_n = energía de radiación neta (cal/(cm² día)

T = temperatura promedio (°C)

G = flujo termal del suelo (cal/cm²)

3.11. Diseño Estadístico

Para este efecto se utilizó el software: MINITAB 15.0, EXCEL 2007 y SAS (sistema para el análisis estadístico) para cálculos estadísticos.

Para los cálculos de regresiones y correlaciones se utilizó el software MINITAB 17.0 y Excel 2010. Para la solución del modelo polinomial se efectuó mediante el análisis de Regresión polinómica de ser el caso, empleando el siguiente modelo:

$$\frac{E_0}{(e_s - e_a)} = f(v)$$

Donde la variable dependiente será

$$y = \frac{E_0}{(e_s - e_a)}$$

Y la variable independiente será: $x = v$

Dónde: E_0 = evapotranspiración de referencia en mm/día promedio del mes; e_s = presión de vapor de saturación en N/m²; e_a = presión de vapor actual en N/m².

v = velocidad del viento en m/s.; El modelo de regresión general es:

$$y = f(x, \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n)$$

Dónde: $\theta_i, i=1,2,\dots,n$ = parámetros del modelo.

Para la obtención de parámetros se solucionan las ecuaciones normales de la regresión múltiple.

3.12. Calibración de la relación

La calibración se realizó aplicando la estimación mínimos cuadrados ordinarios (MCO) y la estimación de máxima verosimilitud (MV), la serie de datos utilizados ha sido 1977 a 1999, correspondiente a las estaciones que contienen elementos meteorológicos requeridos para el procedimiento del modelo planteado.

3.13. Validación de la relación

La validación se realizó comparando el modelo obtenido por el métodos de Penman-Monteith, la serie datos utilizados fue del periodo 2000 al 2009, y el análisis comparativo ha sido mediante el análisis de variancia (ANOVA).

3.14. Modelos de regresión utilizados

3.14.1. Modelo de Minimos Cuadrado Ordinarios (MCO)

Uno de los procedimientos más conocidos es el denominado Estimador de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO). Este procedimiento plantea utilizar, como estimación de los parámetros, aquella combinación de $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ que minimice los errores.

$$y_i = \beta_1 + \beta_2 x_{2i} + \beta_3 x_{3i} + \dots + \beta_k x_{ki} + U_i$$

Sino como:

$$\hat{y}_i = \hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_2 x_{2i} + \hat{\beta}_3 x_{3i} + \dots + \hat{\beta}_k x_{ki}$$

y, por tanto, podríamos computar el error o residuo que el modelo comete en la estimación de cada valor de la endógena comparando, de forma inmediata, el valor real de la endógena en cada observación con el valor estimado:

$$e_i = y_i - \hat{y}_i = y_i - (\hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_2 x_{2i} + \hat{\beta}_3 x_{3i} + \dots + \hat{\beta}_k x_{ki})$$

$$\hat{\beta}_{MCO} \rightarrow \min(S) = \min \sum_{i=1}^n (e_i)^2$$

La expresión a minimizar es:

$$(S) = \sum_{i=1}^n (e_i)^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{\beta}_1 - \hat{\beta}_2 x_{2i} - \hat{\beta}_3 x_{3i} - \dots - \hat{\beta}_k x_{ki})^2$$

Para obtener los valores de cada uno de los “k” parámetros $\hat{\beta}_j$ que minimizan esta expresión derivamos con respecto a cada uno de ellos e igualamos a cero, obteniendo “k” expresiones del tipo:

$$\frac{\partial(S)}{\partial \hat{\beta}_j} = 2 \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{\beta}_1 - \hat{\beta}_2 x_{2i} - \hat{\beta}_3 x_{3i} - \dots - \hat{\beta}_k x_{ki}) \cdot (-x_{ji}) = 0$$

Estas expresiones, se denominan ecuaciones normales:

$$\sum_{i=1}^n y_i x_{1i} = \hat{\beta}_1 \sum_{i=1}^n x_{1i} x_{1i} + \hat{\beta}_2 \sum_{i=1}^n x_{2i} x_{1i} + \hat{\beta}_3 \sum_{i=1}^n x_{3i} x_{1i} + \dots + \hat{\beta}_k \sum_{i=1}^n x_{ki} x_{1i}$$

$$\sum_{i=1}^n y_i x_{2i} = \hat{\beta}_1 \sum_{i=1}^n x_{1i} x_{2i} + \hat{\beta}_2 \sum_{i=1}^n x_{2i} x_{2i} + \hat{\beta}_3 \sum_{i=1}^n x_{3i} x_{2i} + \dots + \hat{\beta}_k \sum_{i=1}^n x_{ki} x_{2i}$$

$$\sum_{i=1}^n y_i x_{3i} = \hat{\beta}_1 \sum_{i=1}^n x_{1i} x_{3i} + \hat{\beta}_2 \sum_{i=1}^n x_{2i} x_{3i} + \hat{\beta}_3 \sum_{i=1}^n x_{3i} x_{3i} + \dots + \hat{\beta}_k \sum_{i=1}^n x_{ki} x_{3i}$$

$$\sum_{i=1}^n y_i x_{ki} = \hat{\beta}_1 \sum_{i=1}^n x_{1i} x_{ki} + \hat{\beta}_2 \sum_{i=1}^n x_{2i} x_{ki} + \hat{\beta}_3 \sum_{i=1}^n x_{3i} x_{ki} + \dots + \hat{\beta}_k \sum_{i=1}^n x_{ki} x_{ki}$$

Lo que, teniendo en cuenta las expresiones matriciales del vector endógeno “Y” y de la matriz de variables exógenas “X”, puede expresarse matricialmente como:

$$X'Y = X'X\hat{\beta}$$

De donde se obtiene fácilmente (“despejando”) la expresión final matricial del vector de parámetros estimados $\hat{\beta}$:

$$\begin{aligned} X'Y &= X'X\hat{\beta} \\ (X'X)^{-1}X'Y &= (X'X)^{-1}X'X\hat{\beta} \\ \hat{\beta} &= (X'X)^{-1}X'Y \end{aligned}$$

3.14.2. Estimadores de Máxima Verosimilitud (MV)

Una segunda aproximación consiste en utilizar lo que se conoce como planteamiento de estimación máximo verosímil. Entre las hipótesis básicas formuladas para el MBRL establecimos que nuestros errores “U” seguirían una distribución normal con media nula y varianza constante, es decir: $u_i \rightarrow N(0, \sigma^2)$

o bien para todo el vector de perturbaciones aleatorias: $U \rightarrow N(0, \sigma^2 I)$

Así pues, la función de densidad de cada uno de los errores será:

$$f(u_i) = \frac{1}{\sqrt{\sigma^2}} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{u_i^2}{\sigma^2}\right)$$

Por lo que, tomando la función de densidad conjunta para cualquier normal multivariante

tenemos que:
$$L = f(u) = \prod_{i=1}^n f(u_i) = (2\pi)^{-n/2} (\sigma^2)^{-n/2} \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{\sum_{i=1}^n u_i^2}{\sigma^2}\right)$$

Se trata, por tanto, de obtener el conjunto de parámetros $\hat{\beta}$ que hacen máxima la función (probabilidad) de densidad conjunta:

$$\max(L) = \max\left(\prod_{i=1}^n f(u_i) = (2\pi)^{-n/2} (\sigma^2)^{-n/2} \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{\sum_{i=1}^n u_i^2}{\sigma^2}\right)\right)$$

Con el fin de computar la derivada parcial de esa expresión "L" con respecto a los parámetros estimados, linealizamos la expresión obteniendo:

$$Ln(L) = -\frac{n}{2} \ln(2\pi) - \frac{n}{2} \ln \sigma^2 - \frac{1}{2\sigma^2} U'U$$

o lo que es igual, considerando ahora errores muestrales y no las perturbaciones aleatorias poblacionales: $Ln(L) = -\frac{n}{2} \ln(2\pi) - \frac{n}{2} \ln \sigma^2 - \frac{1}{2\sigma^2} e'e$

$$Ln(L) = -\frac{n}{2} \ln(2\pi) - \frac{n}{2} \ln \sigma^2 - \frac{1}{2\sigma^2} (y - X\hat{\beta})(y - X\hat{\beta})$$

Es evidente que maximizar esta probabilidad con respecto a $\hat{\beta}$ implica minimizar el último de los sumandos, esto es: $\max[Ln(L)] \rightarrow \min[(y - X\hat{\beta})(y - X\hat{\beta})]$

3.15. Análisis de Variancia (ANVA)

Para efectuar los análisis comparativos de los métodos de evapotranspiración de referencia se utilizó el Diseño Completamente al Azar, en la cual se considerará tiramientos con doce meses del año, y cuyo modelo aditivo lineal es la siguiente:

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

Dónde: $i = 1, 2, \dots, t$; $t =$ número de tratamientos (Métodos de Evapotranspiración); $j = 1, \dots, n$ (número de meses del año); y $\varepsilon =$ error experimental.

CAPITULO IV.

RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Elementos climáticos de la cuenca del rio Ramis

4.1.1. Régimen Anual de la precipitación total promedio

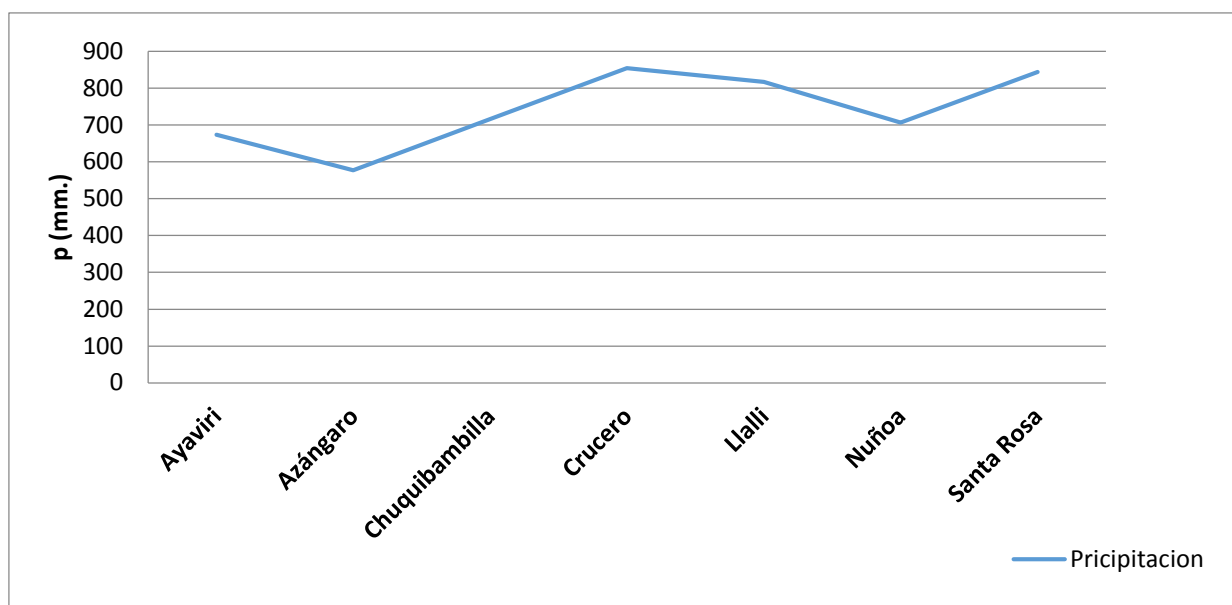
En la región de Puno, la precipitación es una de las variables climáticas más importantes que influyen en la producción agrícola, puesto que la precipitación pluvial es, normalmente, la única fuente de humedad proporcionada al suelo. En el entorno de la vertiente del Lago Titicaca, la altitud también tiene su influencia en la precipitación, asimismo la influencia de la proximidad al Lago Titicaca, el cual es una fuente de humedad extraordinaria a alturas en que las masas de aire no reciben normalmente ningún nuevo aporte (INRENA, 2008).

La información pluviométrica utilizada en el presente estudio proviene de los registros de 07 observatorios meteorológicas principales y están ubicados dentro de la cuenca del rio Ramis. En el análisis de la precipitación total anual se ha utilizado los promedios multianuales de las precipitaciones totales de 7 estaciones perteneciente a la cuenca de Ramis en el periodo 1977 al 2009.

En la Figura N° 2 se presenta en forma gráfica la distribución de precipitación total anual en la región. Se observa que la precipitación total anual en la varia de 576.8 mm. (Azangaro) a 854.8 mm. (Crucero). Los valores más altos se registran en el entorno del Lago Titicaca y en el parte Alta de la Cuenca. Esta particularidad es a consecuencia de la alta radiación, vientos generalmente más fuertes que a niveles más bajos, originan una intensa evaporación del Lago, favoreciendo la formación de masas nubosas que precipitarán en el mismo Lago o en zonas cercanas.

Los valores e la precipitación en la cuenca varían de 576.8 a 854.8 mm. Los valores altos se registran en la cabecera de la cuenca. Si bien los volúmenes totales del promedio anual, dan una buena visión de la distribución real de la precipitación, hay que tener en cuenta que para las actividades agrícolas se hace necesario conocer la variación de la precipitación en forma estacional.

Figura. N° 02 Precipitación Total Anual – Promedio Multianual (1977-2009) Observatorios de la Cuenca del río Ramis y Cuencas Vecinas



FUENTE: Elaboración propia

4.1.2. Régimen de la Precipitación Estacional

Las características estacionales del clima en la región se manifiestan principalmente en la variación del régimen de las precipitaciones. Se sabe que los cultivos no solo son afectados por la poca precipitación anual, sino también por su irregular distribución a lo largo de todo el año.

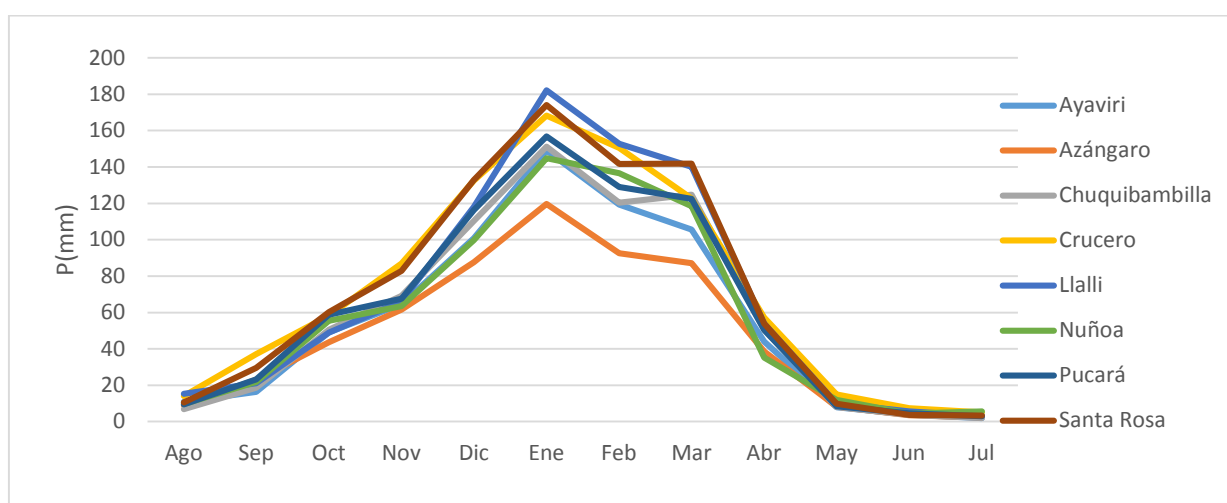
Cuadro 4. Precipitación Total Mensual – Promedio Multianual (1977 - 2009) – Completada y Consistente Observatorios de la Cuenca del río Ramis.

N°	Observatorio	Altitud	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total	Media
1	Ayaviri	3928	149	119.3	105.6	44	7.9	3.8	2	10.9	16.3	49.1	64.6	100.8	673.3	56.1
2	Azángaro	3863	119.7	92.5	87.1	38.5	8.3	3.5	2.3	9	23.1	43.6	61.5	87.7	576.8	48.1
3	Chuquibambilla	3971	151.1	120.4	124.8	50.7	8	3.7	2.1	6.8	18.7	50.5	69.2	110.4	716.4	59.7
4	Crucero	4130	168.2	150.4	122.7	57.1	15	7.4	5.1	14	37.2	58.3	86.9	132.5	854.8	71.2
5	Llalli	3980	182.2	152.7	140.1	53.8	10	5.6	3.1	15.3	21.1	49	66.1	118.1	817.1	68.1
6	Nuñoa	4135	144.8	136.6	118.5	35.1	12	4.3	5.6	9.6	21.8	55.5	63.5	99.8	707.1	58.9
7	Santa Rosa	3966	174	141.7	141.9	53.8	9.9	3.7	3.4	10.6	29.5	60.2	82.8	132.9	844.4	70.4
	TOTAL		1089	913.6	840.7	333	71.1	32	23.6	76.2	167.7	366	495	782.2	5190	432.5
	MEDIA		155.6	130.5	120.1	47.6	10.2	4.6	3.4	10.9	24.0	52.3	70.7	111.7	741.4	61.8

FUNETE: SENAMHI

En la Figura N° 02 se presenta la distribución mensual de la precipitación para el año hidrológico con el fin de observar todas sus características en la cuenca. Se puede apreciar el carácter estacional de la misma y en forma uniforme en la cuenca se presenta dos periodos, uno más lluvioso localizado en el verano (debido al descenso de la zona de convergencia intertropical), y otro con precipitaciones menores en el invierno (la dislocación hacia el norte de la zona de convergencia tropical ocasiona un movimiento de aire muy seco y estable).

Figura. N° 03 Precipitación Total Mensual – Promedio Multianual (1977 - 2009) Observatorios de la Cuenca del río Ramis y Cuencas Vecinas



FUENTE: Elaboración propia

Cuadro 5. Precipitación Total Mensual – Expresada en Porcientos del Total Anual (%)
Observatorios de la Cuenca del río Ramis.

N°	Observatorio	Altitud	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
1	Ayaviri	3928	22	18	16	7	1	1	0	2	2	7	10	15	673.4
2	Azángaro	3863	21	16	15	7	1	1	0	2	4	8	11	15	577
3	Chuquibambilla	3971	21	17	17	7	1	1	0	1	3	7	10	15	716.4
4	Crucero	4130	20	18	14	7	2	1	1	2	4	7	10	15	854.9
5	Llalli	3980	22	19	17	7	1	1	0	2	3	6	8	14	817.1
6	Nuñoa	4135	20	19	17	5	2	1	1	1	3	8	9	14	707
7	Pucará	3910	21	17	16	7	1	1	0	1	3	8	9	16	749.8
8	Santa Rosa	3966	21	17	17	6	1	0	0	1	3	7	10	16	844.3

FUENTE: Elaboración propia

En la cuenca del río Ramis, el régimen de temperaturas sigue el típico patrón anual de variación que corresponde a su latitud geográfica tropical. Es decir, las temperaturas son altas en los meses de verano, bajas en los de otoño e invierno y de medianas a altas en los meses de primavera. Pero la altitud en que se encuentra el Altiplano de 3,800 a 4,500 metros sobre el nivel del mar, hace que este tipo de régimen térmico resulte muy desfavorable, pues es causa de que las temperaturas en los meses de otoño e invierno desciendan a niveles extremadamente bajas.

El fenómeno físico-meteorológico de las heladas, consistente en el súper enfriamiento atmosférico y la congelación del agua y de la humedad ambiental, constituye un grave problema en el Altiplano, por sus desastrosos efectos en la agricultura.

Las probabilidades de ocurrencia de las heladas son relativamente pequeñas en la zona baja y parte media de la zona intermedia, aumentando progresivamente en la parte alta de la cuenca. Los daños producidos por las heladas en las plantas consisten en la rotura de los tejidos vegetales por la congelación, La intensidad de estos daños depende del

grado de desarrollo del vegetal al momento de ocurrir el fenómeno, siendo tanto más graves cuanto más tiernas estén las plantas.

Por esta razón, aunque el peligro de las heladas persiste durante casi todo el año, las más peligrosas son aquellas que se presentan en los meses de Noviembre y Diciembre, conocidas como heladas tardías, las que pueden sorprender a los cultivos en plena germinación o desarrollo. Entre las recomendaciones prácticas que se pueden sugerir para el control de las heladas, pueden ser mencionadas ciertas labores culturales, la calefacción artificial y la introducción de variedades de cultivos resistentes a las temperaturas frías. Los registros de temperatura utilizados en el presente reporte es la información existente en la base de datos de la ATDR Ramis, respectivamente. La longitud de registro histórico varía desde 5 a 40 años.

4.1.3. Régimen de Temperaturas Medias

Debido a las diferencias de altitud, exposición a los vientos y al sol e influencia del Lago Titicaca, existen algunas variaciones en la distribución de la temperatura media del aire en la cuenca. En toda la región las temperaturas medias 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. Debido a la carencia de estadísticas de temperatura media en algunos observatorios, estos valores han sido estimados. Los valores de temperatura media de los observatorios pintados en **negrita** han sido estimados mediante un análisis de regresión múltiple en base a los datos de los observatorios con registros existentes, relacionándolo con la altitud de ubicación del observatorio respectivo.

Cuadro 6. Temperatura Media Mensual (°C) – Promedio Multianual Observatorios de la Cuenca del río Ramis y Cuencas Vecinas.

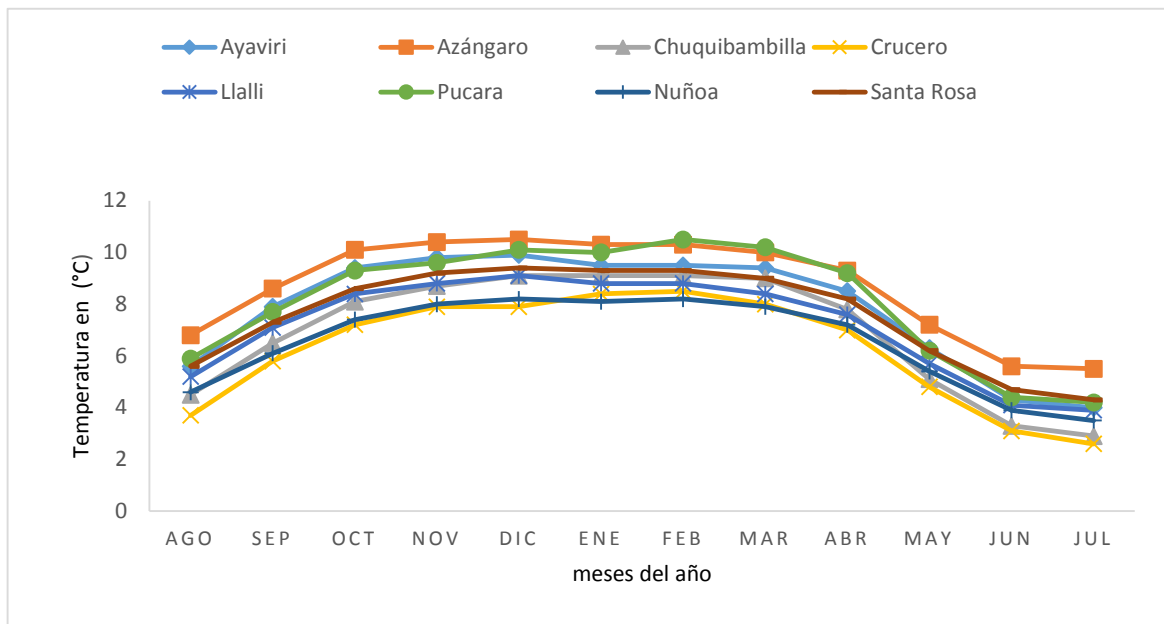
Nº	Observatorio	Altitud	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom
1	Ayaviri	3928	9.5	9.5	9.4	8.5	6.3	4.3	4	5.6	7.9	9.4	9.8	9.9	7.8
2	Azángaro	3863	10.3	10.3	10	9.3	7.2	5.6	5.5	6.8	8.6	10.1	10.4	10.5	8.7
3	Chuquibambilla	3971	9.1	9.1	9	7.8	5.1	3.3	2.9	4.5	6.5	8.1	8.7	9.1	6.9
4	Crucero	4130	8.4	8.5	8	7	4.8	3.1	2.6	3.7	5.8	7.2	7.9	7.9	6.2
5	Llalli	3980	8.8	8.8	8.4	7.6	5.7	4.1	3.9	5.2	7.1	8.4	8.8	9.1	7.2
6	Pucara	3910	10	10.5	10.2	9.2	6.2	4.4	4.2	5.9	7.7	9.3	9.6	10.1	8.1
7	Nuñoa	4135	8.1	8.2	7.9	7.2	5.4	3.9	3.5	4.6	6.1	7.4	8	8.2	6.5
8	Santa Rosa	3966	9.3	9.3	9	8.2	6.2	4.7	4.3	5.6	7.3	8.6	9.2	9.4	7.6

FUNETE: SENAMHI

Ubicados dentro de la región (cuenca del río Ramis y cuencas vecinas). En la Figura N° 4. se ha trazado las isotermas de la temperatura media anual, en donde se puede observar que la zona más fría de la cuenca es la parte alta de Crucero que registra una temperatura media anual de 6.2 °C. Seguido de Nuñoa con 6.5 °C.

El gradiente térmico para la temperatura media de la región corresponde a -0.6°C por cada 100 m. de desnivel. Por el contrario las regiones más cálidas de la cuenca del río Ramis se encuentra en el sector de Azángaro (8.7°C), Ayaviri (7.8 °C), y Pucara (8.1°C), lugares que están en la parte intermedia y baja de la cuenca, cercanos al Lago Titicaca, lo que demuestra la gran capacidad de almacenamiento de energía y posterior efecto de regulación termal. La variación de la temperatura media tiene una dirección Nor-Este según como se observa la traza de isotermas de la cuenca.

Figura N° 04 Temperatura Media Mensual (°C) – Promedio Multianual Observatorios de la Cuenca del río Ramis y Cuencas Vecinas.



FUENTE: Elaboración propia

4.1.4. Régimen de Temperaturas Máximas Promedio

La distribución de isotermas de temperaturas máximas en el ámbito de la cuenca del río Ramis caracteriza las zonas más cálidas localizadas en los sectores de Chuquibambilla (16.5°C), Ayaviri (16.2°C), Azángaro (16.1°C),) como valores de temperatura máxima promedio. Igual caso sucede en las zonas cercanas al Lago Titicaca según como se puede apreciar en los valores de la cuadro N° 7 y en forma gráfica en la Figura N° 5.

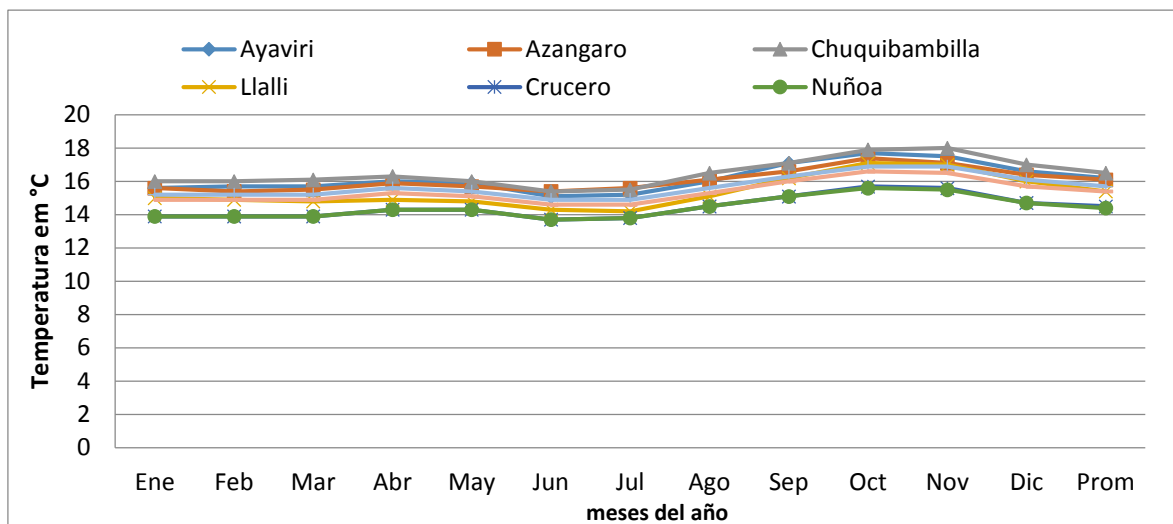
Al igual que las temperaturas medias, debido a la carencia de estadísticas de temperatura máximas, los valores de temperatura máximas de los observatorios en **negrita** han sido estimados mediante un análisis de regresión múltiple en base a los datos de los observatorios con registros existentes, relacionándolo con la altitud de ubicación del observatorio respectivo.

Cuadro 7. Temperatura Máxima Mensual (°C) – Promedio Multianual Observatorios de la Cuenca del río Ramis y Cuencas Vecinas

N°	Observatorio	Altitud	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom
1	Ayaviri	3928	15.6	15.7	15.7	16	15.9	15.1	15.2	16	17.1	17.7	17.5	16.6	16.2
2	Azangaro	3863	15.6	15.4	15.5	15.9	15.7	15.4	15.6	16.1	16.6	17.4	17.1	16.4	16.1
3	Chuquibambilla	3971	16	16	16.1	16.3	16	15.4	15.5	16.5	17.1	17.9	18	17	16.5
4	Llalli	3980	15	14.9	14.8	14.9	14.8	14.3	14.2	15.1	16.2	17.1	17	16	15.4
5	Crucero	4130	13.9	13.9	13.9	14.3	14.3	13.7	13.8	14.5	15.1	15.7	15.6	14.7	14.5
6	Nuñoa	4135	13.9	13.9	13.9	14.3	14.3	13.7	13.8	14.5	15.1	15.6	15.5	14.7	14.4
7	Pucará	3910	15.2	15.2	15.2	15.6	15.4	14.9	14.9	15.6	16.3	16.9	16.9	16.1	15.7
8	Santa Rosa	3966	14.9	14.9	14.9	15.3	15.1	14.6	14.6	15.3	16	16.6	16.5	15.7	15.4

FUNETE: SENAMHI

Figura 05 Temperatura Máxima Mensual (°C) – Promedio Multianual Observatorios de la Cuenca del río Ramis y Cuencas Vecinas



FUENTE: Elaboración propia

4.1.5. Régimen de Temperaturas Mínimas Promedio

En la parte alta del ámbito de la cuenca del río Ramis se registra las temperaturas más bajas, específicamente en la zona de Chuquibambilla (-2.6 °C). Y los meses de mayor friaje dentro de la región es durante los meses de Junio a Agosto, en el mes de Julio se registra las temperaturas más bajas en toda la región. En la Figura N° 6 se observa la temperatura mínima promedio anual, se verifica la distribución espacial de las temperaturas mínimas acentuándose más en las partes altas de la cuenca.

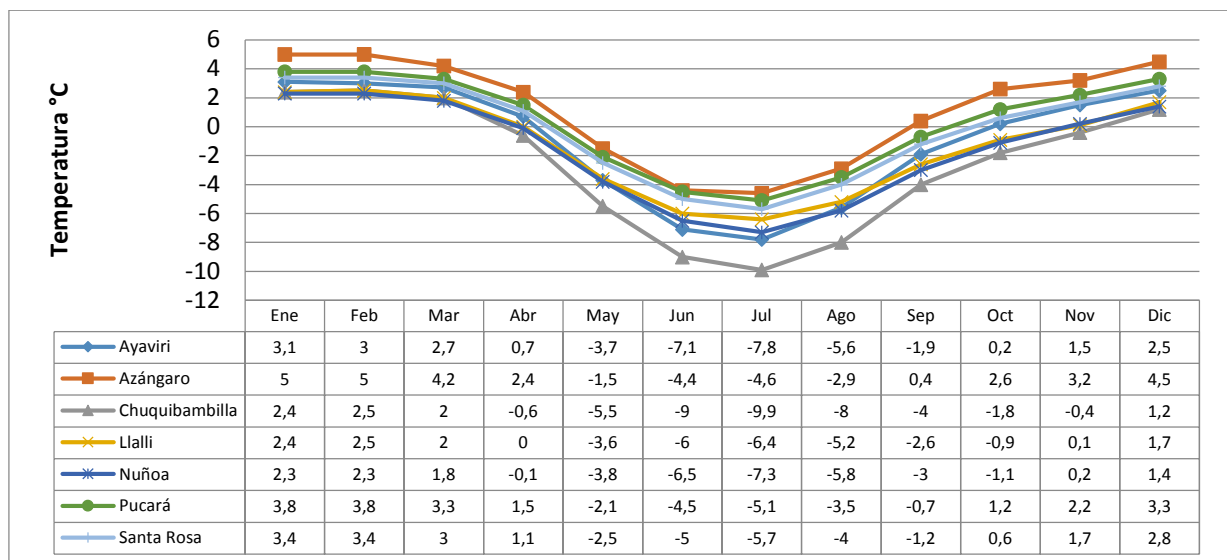
De las temperaturas mínimas registradas en la región, se deduce un gradiente de temperatura de $-1.03\text{ }^{\circ}\text{C}$ por cada 100 m. de desnivel. En el caso de las temperaturas mínimas también se ha realizado un análisis de regresión lineal para los datos existentes, y consiguientemente se ha estimado los valores de temperaturas mínimas para las estaciones sin registro.

Cuadro 8. Temperatura Mínima Mensual ($^{\circ}\text{C}$) – Promedio Multianual Observatorios de la Cuenca del río Ramis y Cuencas Vecinas

N°	Observatorio	Altitud	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom
1	Ayaviri	3928	3.1	3	2.7	0.7	-3.7	-7.1	-7.8	-5.6	-1.9	0.2	1.5	2.5	-1
2	Azángaro	3863	5	5	4.2	2.4	-1.5	-4.4	-4.6	-2.9	0.4	2.6	3.2	4.5	1.2
3	Chuquibambilla	3971	2.4	2.5	2	-0.6	-5.5	-9	-9.9	-8	-4	-1.8	-0.4	1.2	-2.6
4	Llalli	3980	2.4	2.5	2	0	-3.6	-6	-6.4	-5.2	-2.6	-0.9	0.1	1.7	-1.3
5	Nuñoa	4135	2.3	2.3	1.8	-0.1	-3.8	-6.5	-7.3	-5.8	-3	-1.1	0.2	1.4	-1.6
6	Pucará	3910	3.8	3.8	3.3	1.5	-2.1	-4.5	-5.1	-3.5	-0.7	1.2	2.2	3.3	0.3
7	Santa Rosa	3966	3.4	3.4	3	1.1	-2.5	-5	-5.7	-4	-1.2	0.6	1.7	2.8	-0.2

FUNETE: SENAMHI

Figura N° 06. Temperatura Mínima Mensual ($^{\circ}\text{C}$) – Promedio Multianual Observatorios de la Cuenca del río Ramis y Cuencas Vecinas



FUENTE: Elaboración propia

4.1.6. Régimen de Temperaturas en la Región

En todos los observatorios de la región (cuenca del río Ramis y observatorios de apoyo), el régimen de temperaturas medias, máximas y mínimas varía uniformemente durante todo el año. Por consiguiente la variación térmica de la cuenca debido a la poca diferencia de altitud entre la cota más alta y las más baja tiene similares condiciones en cualquier punto localizado dentro de la cuenca.

4.1.7. Evaporación

La evaporación es el proceso físico mediante el cual el agua se convierte a su forma gaseosa. La evaporación del agua a la atmósfera ocurre en la superficie de ríos, lagos, suelos y vegetación. Los registros disponibles de evaporación provienen de observaciones de Tanque evaporímetro Tipo A.

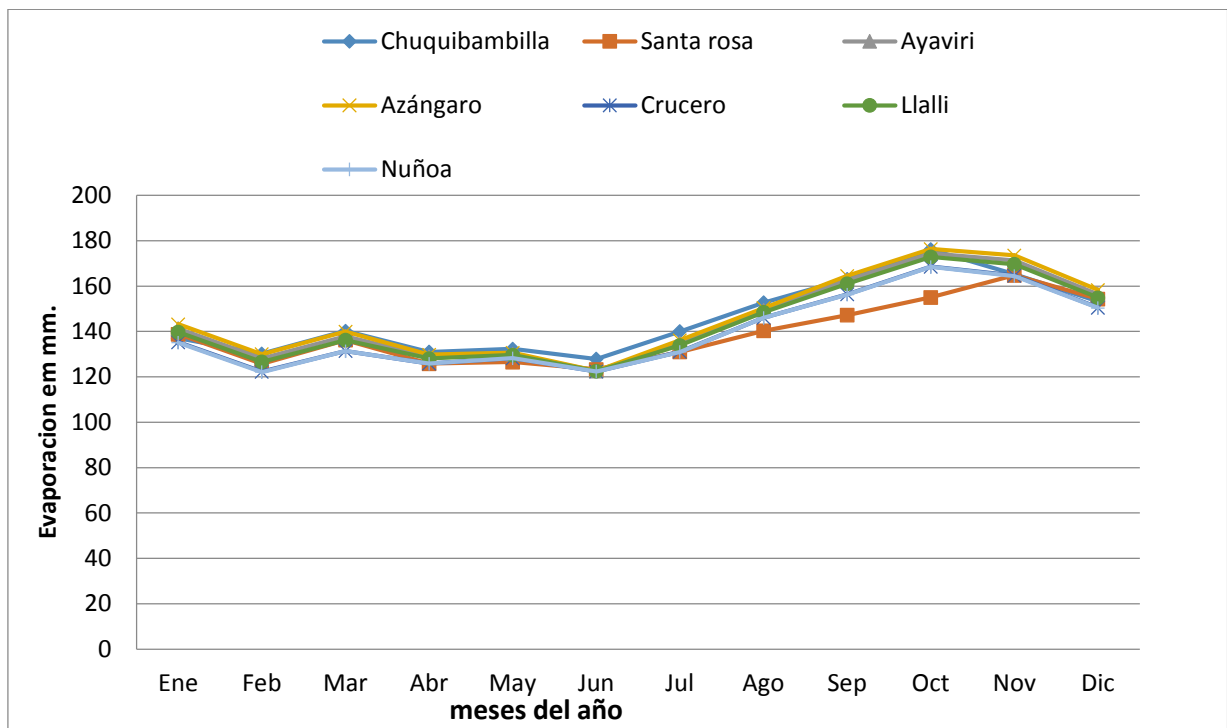
Se ha realizado el análisis de la evaporación total mensual registrada en siete observatorios meteorológicos. Debido a la escasa información de este parámetro para otros observatorios, se ha estimado los valores mediante un análisis de regresión múltiple de los valores promedio mensuales en base a la información disponible.

Cuadro.9 Evaporación Total Promedio Mensual (mm.) – Promedio Multianual Observatorios de la Cuenca del río Ramis y Cuencas Vecinas

N°	Observatorio	Altitud	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom
1	Chuquibambilla	3971	137	130.2	140.2	131	132.3	127.9	140	152.7	163.1	176.1	165.2	153.3	145.8
2	Santa rosa	3966	138.8	125.7	136.2	125.8	126.5	123.3	131	140.3	147.2	155	164.8	154.3	139.1
3	Ayaviri	3928	141.3	128.1	137.9	128.9	130	122.6	134.9	149.3	162.6	174.4	171.3	156.4	144.8
4	Azángaro	3863	143.2	130	139.9	129.8	130.6	122.6	136.1	150.3	164.5	176.3	173.5	158.3	146.3
5	Crucero	4130	135.3	122.3	131.4	125.9	128.2	122.4	131.1	146.1	156.4	168.6	164.6	150.5	140.2
6	Llalli	3980	139.7	126.6	136.2	128.1	129.6	122.5	133.9	148.5	161	172.9	169.6	154.9	143.6
7	Nuñoa	4135	135.1	122.1	131.3	125.8	128.2	122.4	131	146	156.2	168.4	164.4	150.4	140.1

FUNETE: SENAMHI

Figura N° 07 Evaporación Total Promedio Mensual (mm.) – Promedio Multianual Observatorios de la Cuenca del río Ramis y Cuencas Vecinas



FUENTE: Elaboración propia

Los valores más altos de la evaporación promedio mensual se producen en los meses de octubre y noviembre. Se observa que en las zonas de Ayaviri, Azángaro, Chuquibambilla Llalli y en las cercanías al Lago Titicaca se registra los valores más altos. Los valores más bajos se registra en las zonas de la cabecera de la cuenca, tal es el caso de Santa Rosa que presenta un valor de 139.1mm. Como promedio anual.

4.1.8. Humedad Relativa

La humedad relativa es una expresión de lo máximo posible en términos relativos. La humedad relativa no dice nada de cuanto vapor hay en la masa, dice cuanto está ocupado de la masa por vapor. La temperatura es la que me permite saber cuánto vapor de agua hay en la atmósfera. En base a la información disponible de once observatorios

ubicados en la cuenca (6) y el entorno de la cuenca (5) se ha realizado el análisis de la distribución espacial de este parámetro.

La variación estacional y espacial es similar a la precipitación, por lo que registra los valores más altos durante el verano. También se verifica que la variación estacional de la humedad relativa en todo el bloque de los observatorios es uniforme.

En los observatorios ubicados en la cabecera de la cuenca y los ubicados cerca al Lago Titicaca registran mayores valores con respecto a los observatorios ubicados en la cuenca media. Mediante análisis de regresión múltiple se ha estimado valores de humedad relativa para los observatorios sin registro (los datos que aparecen en negrita).

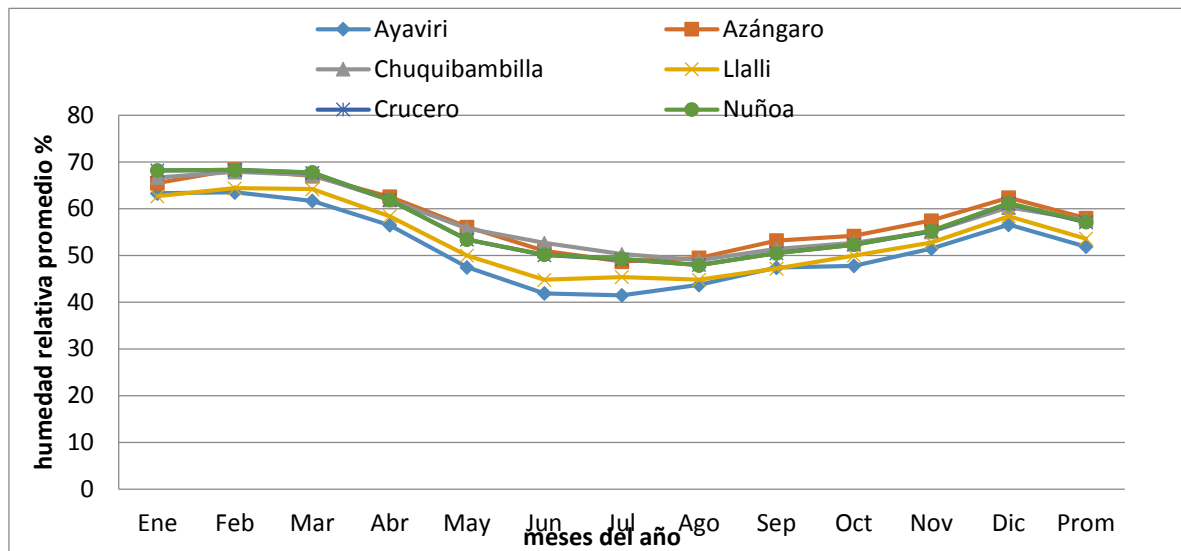
En el cuadro N° 10 se aprecia la variación estacional de la humedad relativa, registrándose en el observatorio de Azángaro y Ñoñoa el valor más alto de 58.00% 57.2 % en el mes de Enero, y los valores más bajos se registra en el observatorio de Llalli (44.8%) y Ayaviri (41.6%) y durante los meses de Junio y Julio. En la Figura N° 8 se presenta la variación mensual.

Cuadro 10. Humedad Relativa Promedio Mensual (%) – Promedio Multianual Observatorios de la Cuenca del río Ramis y Cuencas Vecinas

N°	Observatorio	Altitud	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom
1	Ayaviri	3928	63.3	63.5	61.7	56.5	47.5	41.9	41.5	43.7	47.4	47.8	51.5	56.6	51.9
2	Azángaro	3863	65.5	68.4	67	62.6	56.1	51	48.7	49.5	53.2	54.2	57.5	62.4	58
3	Chuquibambilla	3971	66.7	67.9	67.2	61.9	55.8	52.7	50.3	49	51.4	52.7	55.1	60.3	57.6
4	Llalli	3980	62.7	64.4	64.2	58.4	50	44.8	45.4	44.8	47.2	50	52.8	58.4	53.6
5	Crucero	4130	68.2	68.3	67.7	61.9	53.4	50.1	49.2	48	50.5	52.3	55.2	61.1	57.1
6	Ñoñoa	4135	68.2	68.3	67.8	61.9	53.4	50.2	49.3	47.9	50.5	52.3	55.3	61.2	57.2

FUNETE: SENAMHI

Figura N° 08. Humedad Relativa Promedio Mensual (%) – Promedio Multianual Observatorios de la Cuenca del río Ramis y Cuencas Vecinas



FUENTE: Elaboración propia

4.1.9. Vientos

Los vientos de superficie son principalmente el resultado de los patrones locales de relieve, los cuales tienden a canalizar los vientos en direcciones específicas. En la zona del Lago Titicaca se genera además una circulación lago-tierra-lago, resultado de las diferencias de temperatura entre la tierra y la superficie acuática. Durante el día, los vientos soplan del lago hacia las riberas, debido a que la tierra se calienta más que el lago, generándose así una zona de más baja presión sobre la primera. Durante la noche se invierte la circulación, debido a que la tierra se enfría más que el lago. En relación con la velocidad y la dirección del viento la situación es muy parecida a lo largo del año:

En el norte (cabeceras de los ríos Coata y Ramis) predominan las calmas, frecuentemente por encima del 50% del tiempo, salvo en Pampahuta y Llally, donde los vientos predominantes son del S y SO (en Llally la velocidad puede llegar hasta 4,8 m/s). No obstante, en los meses de invierno la velocidad del viento tiende a ser mayor en cerca de 1 m/s a las velocidades de verano. En la zona del Lago Titicaca los vientos predominantes vienen del lago, con velocidades entre 2 y 4 m/s, aunque las calmas

pueden alcanzar localmente valores bastante altos. En el oriente predominan los vientos de los cuadrantes del E (E, NE y SE), con velocidades entre 2 y 5 m/s, aunque las calmas pueden alcanzar porcentajes altos en algunas localidades.

4.1.10. Presión atmosférica media

La presión atmosférica media es muy similares en todo el altiplano y varían principalmente con la altitud. A nivel del altiplano, la presión varía entre 645 mb en Juliaca (al norte) y 656 mb al sur (en Uyuni), mientras que en Chacaltaya, en las montañas al norte de La Paz es de 536 mb.

4.1.11. Radiación e insolación

La radiación solar global varía entre 462 cal/cm². día en Puno, en el norte de la región, y 518 cal/cm² día en Patacamaya, en el sur. No obstante, ella cambia significativamente en el transcurso del año. Así, en Puno va desde 390 en julio hasta 549 en noviembre, y en Patacamaya desde 457 en junio hasta 596 en noviembre. En estrecha relación con la radiación, la insolación es de 3.005 horas de sol al año en Puno y 2.752 en Patacamaya, con una distribución en el año igualmente contrastada entre verano e invierno. En Puno el número promedio de horas de sol por día cambia de 9,6 en julio a 6,0 en enero; y en Patacamaya varía entre 8,8 y 5,4 en los mismos meses (TDPS, 2011).

4.1.12. Evapotranspiración potencial

La evapotranspiración y la precipitación son dos elementos climáticos independientes, su marcha anual difícilmente coincide en un mismo punto de la tierra, por lo que en algunos lugares existen períodos en los cuales la necesidad de agua está ampliamente satisfecha por las lluvias y otros en los que se carece de las cantidades de agua requerida. De esta manera, habrá meses con agua suficiente y meses en que se registre

exceso o deficiencia de agua en forma manifiesta. También pueden ocurrir casos extremos en que durante todo el año las precipitaciones sobrepasen las necesidades de agua o viceversa.

La evapotranspiración potencial (ETP), o pérdida de agua que ocurriría si en ningún momento existiera una deficiencia de agua en el suelo para el uso de la vegetación, es una función de la humedad a nivel de dicha superficie y de la energía disponible. Aunque hay diversos procedimientos para medir y calcular la ETP, en el presente caso se hará referencia a los resultados obtenidos mediante la fórmula de Penman. Los valores obtenidos son relevantes para estimar el uso consuntivo de los cultivos que formen parte de un proyecto de riego. La ETP varía aproximadamente entre 1.000 y 1.500 mm en todo el Sistema TDPS. No parece existir una relación entre la ETP y la altitud. Así, la ETP de Chacaltaya (de 1.315 mm), a 5.220 m de altitud, es muy similar a la de Viacha (1.363 mm), a 3.850 m. El régimen mensual de la ETP es similar en todo el Sistema TDPS. El máximo se presenta en verano (noviembre-marzo) y el mínimo en invierno (mayo-agosto) (TDPS, 2011) y (FAO, 2006).

4.1.13. Determinación de la ETP mediante el programa de Cropwat

Se determinó la ETP con el programa de computadora Cropwat. Según el paper 56 de la FAO publicado el año 1998, se recomienda no usar el término ETP, sino en lugar usar el término evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o) (FAO, 2006).

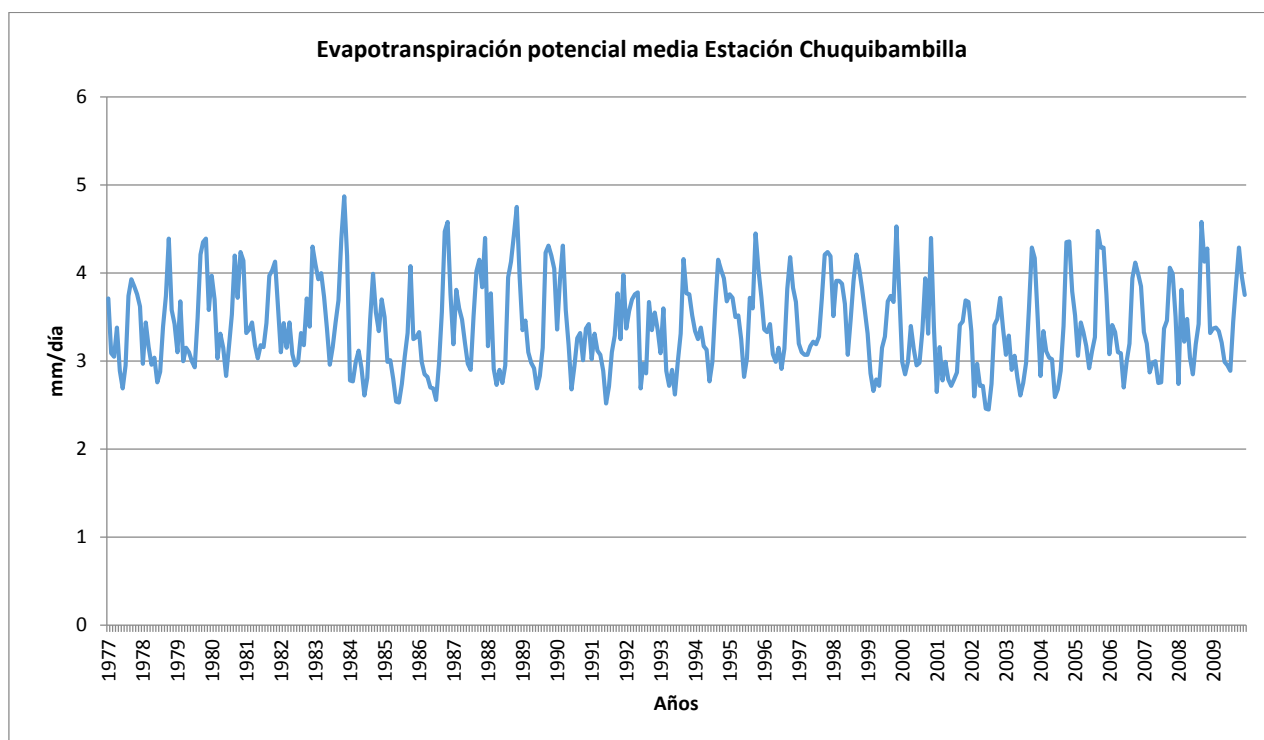
Se determinó la ET_o en mm/día media mensual para el período de registro con que se contó con los datos del SENAMHI, desde Enero de 1977 a Diciembre del 2009. Los valores se muestran en el gráfico 08.

Cuadro. N° 11. Evapotranspiración media (mm/día) de la Estación Chuquibambilla

AÑO	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiem	Octubre	Noviem	Diciem
1977	3.71	3.09	3.05	3.38	2.89	2.69	2.95	3.74	3.93	3.85	3.76	3.62
1978	2.97	3.44	3.16	2.96	3.04	2.76	2.88	3.39	3.74	4.39	3.58	3.42
1979	3.10	3.68	3.00	3.15	3.10	3.00	2.93	3.49	4.21	4.35	4.39	3.58
1980	3.97	3.70	3.03	3.31	3.15	2.83	3.17	3.53	4.20	3.72	4.24	4.14
1981	3.32	3.36	3.44	3.18	3.03	3.18	3.16	3.43	3.97	4.03	4.13	3.62
1982	3.10	3.43	3.15	3.44	3.08	2.95	2.99	3.32	3.18	3.71	3.39	4.30
1983	4.10	3.93	4.00	3.73	3.37	2.96	3.16	3.44	3.69	4.39	4.87	4.19
1984	2.78	2.77	2.99	3.12	2.92	2.61	2.81	3.47	3.99	3.55	3.34	3.70
1985	3.50	2.99	3.01	2.80	2.54	2.53	2.74	3.05	3.32	4.08	3.25	3.27
1986	3.33	2.99	2.85	2.82	2.70	2.69	2.56	2.97	3.56	4.47	4.58	3.76
1987	3.19	3.81	3.60	3.47	3.21	2.97	2.90	3.51	4.02	4.15	3.84	4.40
1988	3.17	3.77	2.91	2.73	2.90	2.75	2.95	3.95	4.13	4.43	4.75	3.95
1989	3.35	3.46	3.10	2.98	2.92	2.69	2.83	3.15	4.23	4.31	4.20	4.05
1990	3.36	3.93	4.31	3.58	3.18	2.68	2.94	3.26	3.32	3.01	3.37	3.42
1991	3.02	3.31	3.12	3.07	2.89	2.52	2.71	3.10	3.29	3.77	3.25	3.98
1992	3.37	3.57	3.70	3.76	3.78	2.69	2.97	2.86	3.67	3.35	3.55	3.36
1993	3.09	3.60	2.89	2.72	2.90	2.62	2.99	3.31	4.16	3.77	3.76	3.52
1994	3.34	3.25	3.38	3.17	3.13	2.77	2.99	3.61	4.15	4.04	3.94	3.68
1995	3.76	3.72	3.50	3.52	3.25	2.82	3.03	3.72	3.60	4.45	4.04	3.73
1996	3.36	3.33	3.42	3.08	2.99	3.15	2.91	3.14	3.82	4.18	3.83	3.67
1997	3.20	3.10	3.07	3.07	3.17	3.22	3.19	3.28	3.71	4.21	4.24	4.19
1998	3.51	3.91	3.91	3.88	3.65	3.07	3.47	3.91	4.21	4.04	3.84	3.58
1999	3.31	2.86	2.66	2.79	2.72	3.15	3.28	3.68	3.74	3.67	4.53	3.77
2000	2.99	2.85	2.99	3.40	3.14	2.95	2.98	3.34	3.94	3.31	4.40	3.39
2001	2.65	3.16	2.78	2.99	2.79	2.72	2.79	2.87	3.41	3.45	3.69	3.67
2002	3.34	2.60	2.97	2.72	2.72	2.46	2.45	2.74	3.41	3.48	3.72	3.37
2003	3.07	3.29	2.90	3.06	2.81	2.61	2.75	2.98	3.60	4.29	4.17	3.51
2004	2.83	3.34	3.11	3.04	3.02	2.59	2.68	2.89	3.40	4.35	4.36	3.79
2005	3.52	3.06	3.44	3.33	3.17	2.92	3.11	3.27	4.48	4.29	4.29	3.75
2006	3.08	3.41	3.33	3.10	3.09	2.70	2.99	3.20	3.94	4.12	3.99	3.85
2007	3.33	3.20	2.87	2.98	3.00	2.75	2.76	3.37	3.46	4.06	3.99	3.50
2008	2.74	3.81	3.22	3.48	3.04	2.85	3.19	3.42	4.58	4.13	4.28	3.32
2009	3.37	3.38	3.34	3.21	2.99	2.95	2.89	3.45	3.88	4.29	3.96	3.75

FUENTE: Elaboración propia

Figura. N° 09. Evapotranspiración media (mm/día) de la Estación Chuquibambilla



FUENTE: Elaboración propia

4.2. Relación entre la evapotranspiración de referencia con el déficit de presión de vapor de la cuenca del río Ramis.

Según el (FAO, 2006) el déficit de presión de vapor ($e_s - e_a$), El déficit de presión de vapor es la diferencia entre la presión de saturación de vapor (e_s) y la presión real de vapor (e_a) durante un determinado periodo. Para periodos tales como una semana, diez días o un mes, es se calcula mediante una ecuación, usando el promedio de T_{max} y T_{min} en el periodo. En el caso de e_a , esta se computa similarmente con la aplicación de las Ecuaciones en función a la disponibilidad de datos, usando los promedios de cada periodo.

4.2.1. Modelamiento de la relación entre la ETP, el déficit de presión de vapor y la velocidad del viento

Se realizó el modelamiento de la relación, utilizando la metodología tradicional que considera un período de calibración y un período de validación. Se tomó el 70% de datos en el período de calibración y el 30% restante de datos para el período de validación. Así se eligió los períodos mostrados en el siguiente cuadro.

Cuadro 12. Períodos de calibración y validación de serie de datos históricos

Período	Años
Calibración	1977 a 1999 (23 años)
Validación	2000 a 2009 (10 años)

4.2.2. Análisis estadístico de las variables climáticas

Para poder determinar la relación entre la evapotranspiración de referencia, el viento y el déficit de presión de vapor, se realizó un modelamiento estadístico con ciertas bases físicas. Por tanto, se estableció períodos de calibración y validación del modelo.

Las principales variables climáticas analizadas fueron el déficit de presión de vapor, la humedad relativa, la temperatura media de las mínimas, la temperatura media de las máximas, el viento, el rango de temperatura y la radiación extraterrestre, todas para la estación Chuquibambilla.

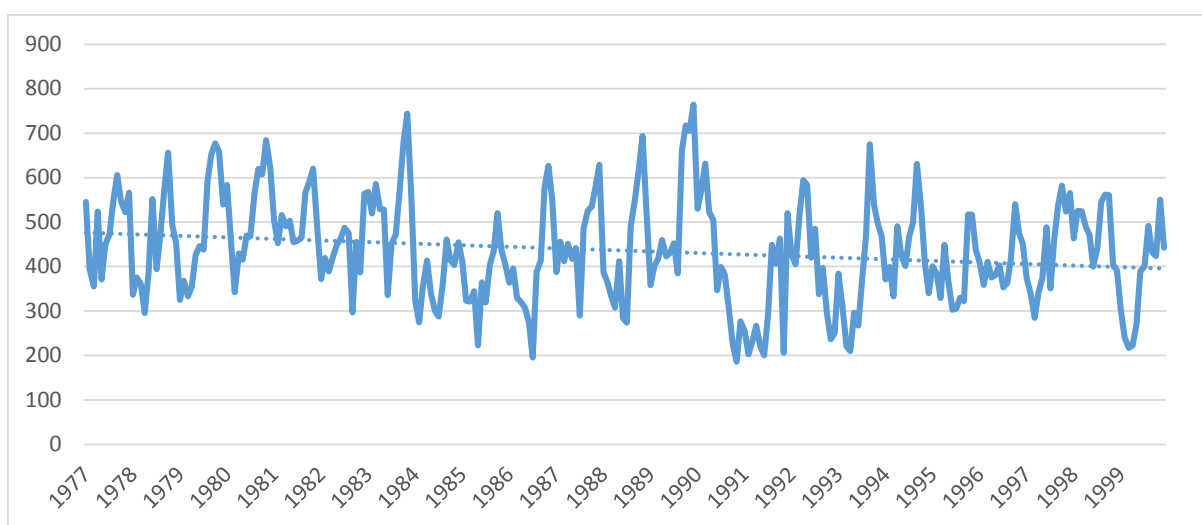
El déficit de presión de vapor posee el siguiente comportamiento a lo largo del tiempo para el período de calibración del modelo.

Cuadro N° 13. Variación temporal del déficit de presión de vapor (Pa) Estación Chuquibambilla

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiem	Octubre	Noviem	Diciem
1977	545.40	394.44	355.15	523.90	371.31	449.47	473.27	548.91	605.45	546.72	522.06	566.51
1978	336.44	375.72	360.12	295.72	387.22	551.68	393.88	473.59	573.01	656.33	493.49	452.89
1979	325.25	368.22	332.59	355.04	425.75	445.87	437.80	591.89	652.41	677.23	659.37	539.77
1980	583.71	460.56	342.15	429.67	415.43	469.54	468.63	566.31	619.23	607.35	684.47	623.16
1981	503.94	452.45	515.64	490.79	502.61	454.34	458.05	465.06	567.10	590.41	620.20	485.37
1982	371.95	419.06	389.14	421.99	449.20	462.94	486.85	475.18	297.08	455.19	386.73	563.93
1983	567.76	519.38	585.68	528.92	527.68	335.90	450.79	472.13	568.98	676.75	743.97	552.66
1984	323.06	274.70	356.34	413.37	339.09	301.01	287.51	360.16	460.80	413.57	403.31	454.74
1985	411.56	322.65	321.56	344.17	222.71	364.30	319.59	404.43	434.10	520.34	438.10	405.13
1986	363.79	395.21	329.69	320.87	306.97	274.87	195.53	387.77	413.73	578.26	626.47	549.07
1987	387.84	455.94	412.04	450.71	417.07	441.35	289.55	486.21	525.71	534.85	578.44	628.62
1988	387.22	366.05	333.89	307.99	412.33	283.72	273.86	490.48	549.67	617.52	693.77	527.93
1989	358.43	401.15	417.65	459.84	423.12	430.69	452.19	384.48	661.62	717.48	705.32	764.52
1990	529.91	573.47	631.66	522.95	504.37	346.77	399.27	382.20	302.95	224.59	186.25	276.61
1991	255.35	202.57	231.69	266.64	219.88	200.61	291.49	449.20	406.42	463.52	206.02	520.30
1992	427.80	405.13	513.91	594.43	583.99	419.83	485.13	338.27	397.00	294.71	236.33	250.28
1993	383.92	307.99	220.54	209.51	296.24	267.19	371.27	467.34	675.19	539.77	496.31	468.38
1994	370.99	399.03	332.59	490.50	427.99	401.62	467.92	498.98	630.99	533.66	407.07	340.28
1995	400.54	383.35	329.24	449.02	368.72	302.89	305.31	330.02	322.47	516.94	516.52	436.99
1996	409.39	358.90	410.78	375.59	380.80	402.42	352.94	362.53	420.17	539.95	475.45	450.15
1997	373.89	337.23	284.85	342.53	373.91	488.65	351.24	460.41	537.48	581.76	523.82	565.83
1998	463.25	525.26	524.24	490.50	471.62	400.22	442.91	545.90	561.52	560.78	402.50	391.22
1999	302.82	240.95	216.83	222.76	270.50	389.62	399.55	491.56	432.19	423.82	550.54	442.58

FUENTE: Elaboración propia

Figura 10. Variación temporal del déficit de presión de vapor (Pa) Estación Chuquibambilla



FUENTE: Elaboración propia

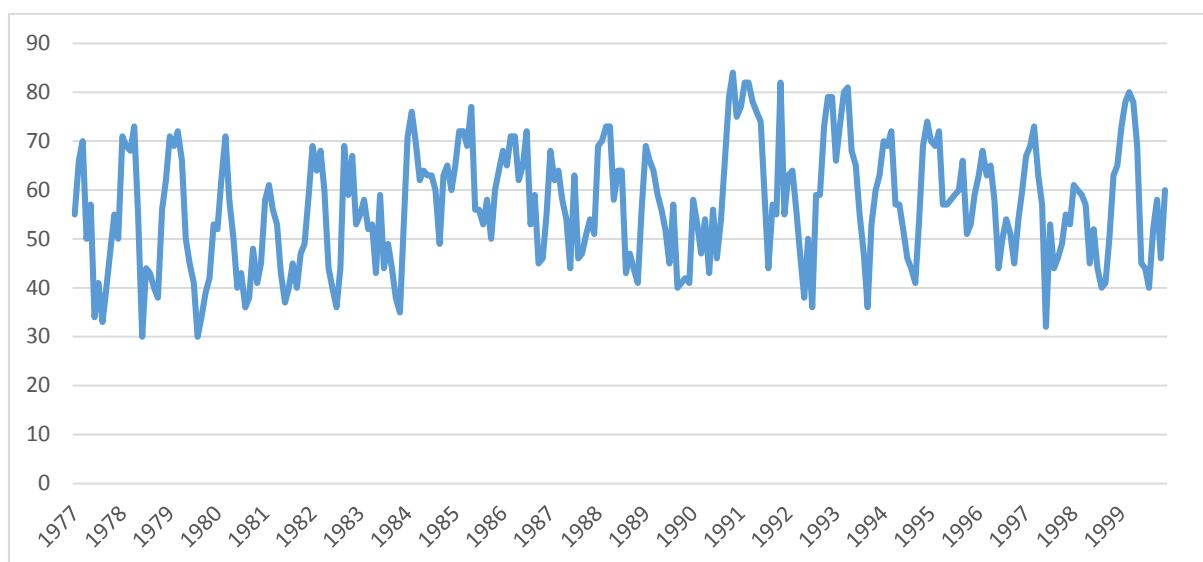
La humedad relativa media posee el siguiente comportamiento temporal tambien para el período de calibración del modelo

Cuadro N° 14. Variación temporal de la humedad relativa media (%) Estación Chuquibambilla

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiem	Octubre	Noviem	Diciem
1977	55	66	70	50	57	34	41	33	40	48	55	50
1978	71	69	68	73	55	30	44	43	40	38	56	62
1979	71	69	72	66	50	45	41	30	34	39	42	53
1980	52	62	71	58	50	40	43	36	38	48	41	45
1981	58	61	56	53	43	37	40	45	40	47	49	59
1982	69	64	68	60	44	40	36	44	69	59	67	53
1983	55	58	52	53	43	59	44	49	44	38	35	53
1984	71	76	70	62	64	63	63	60	49	63	65	60
1985	65	72	72	69	77	56	56	53	58	50	60	64
1986	68	65	71	71	62	65	72	53	59	45	46	55
1987	68	62	64	58	54	44	63	46	47	51	54	51
1988	69	70	73	73	58	64	64	43	47	44	41	56
1989	69	66	64	59	56	52	45	57	40	41	42	41
1990	58	53	47	54	43	56	46	54	66	79	84	75
1991	77	82	82	78	76	74	59	44	57	55	82	55
1992	63	64	56	47	38	50	36	59	59	73	79	79
1993	66	73	80	81	68	65	55	47	36	53	60	63
1994	70	69	72	57	57	52	46	44	41	54	69	74
1995	70	69	72	57	57	58	59	60	66	51	53	59
1996	63	68	63	65	58	44	50	54	51	45	54	60
1997	67	69	73	63	57	32	53	44	46	49	55	53
1998	61	60	59	57	45	52	44	40	41	50	63	65
1999	73	78	80	78	69	45	44	40	52	58	46	60

FUENTE: Elaboración propia

Figura N° 11. Variación temporal de la humedad relativa media (%) Estación Chuquibambilla



FUENTE: Elaboración propia

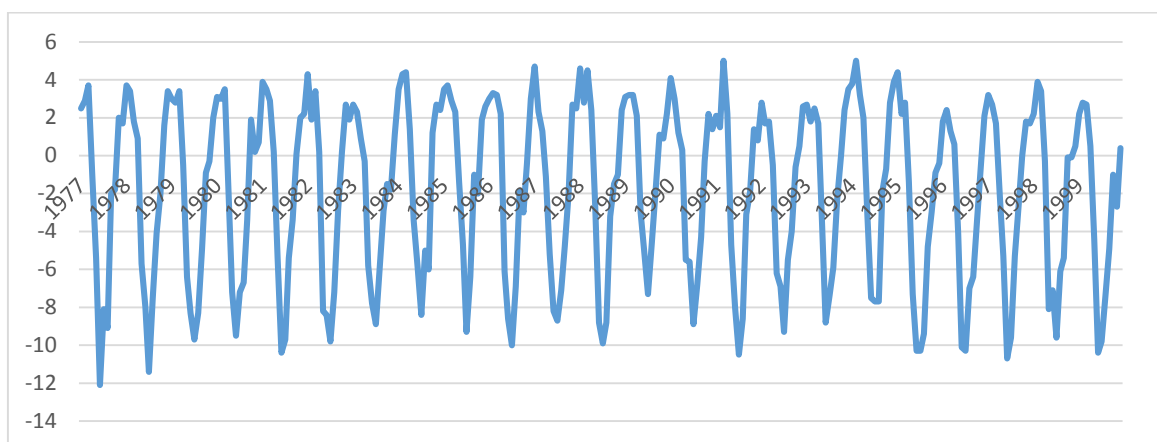
La temperatura media de las mínimas y media de las máximas poseen un comportamiento temporal que se presenta en la siguiente figura para el período de calibración.

Cuadro N° 15.Variación temporal de la temperatura media de las mínimas (°C) Estación Chuquibambilla

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiem	Octubre	Noviem	Diciem
1977	2.5	2.9	3.7	-1	-5.4	-12.1	-8.1	-9.1	-2	-1.8	2	1.7
1978	3.7	3.4	1.8	0.9	-5.7	-8	-11.4	-7.5	-4.1	-2	1.6	3.4
1979	3	2.8	3.4	-0.5	-6.4	-8.3	-9.7	-8.3	-4.9	-0.9	-0.3	2
1980	3.1	3	3.5	-1.6	-7.2	-9.5	-7.2	-6.7	-3.4	1.9	0.2	0.7
1981	3.9	3.5	2.9	0.2	-5.4	-10.4	-9.7	-5.4	-3.4	0.1	2	2.2
1982	4.3	1.9	3.4	0.2	-8.2	-8.4	-9.8	-7.2	-2.9	0.2	2.7	1.9
1983	2.7	2.3	0.9	-0.3	-5.8	-7.8	-8.9	-5.9	-2.9	-1.5	-1.8	1.1
1984	3.5	4.3	4.4	1.4	-3.4	-5.8	-8.4	-5	-6	1.2	2.7	2.4
1985	3.5	3.7	2.9	2.3	-1.4	-4.7	-9.3	-6.4	-1	-2	1.9	2.6
1986	3	3.3	3.2	2.2	-6.1	-8.6	-10	-6.9	-1.9	-3	-0.4	3
1987	4.7	2.3	1.3	-1.1	-5.2	-8.2	-8.7	-7.1	-4.8	-2	2.7	2.5
1988	4.6	2.8	4.5	2.4	-2.6	-8.8	-9.9	-8.8	-3.2	-1.5	-1	2.4
1989	3.1	3.2	3.2	2.1	-3	-5	-7.3	-4.6	-1.8	1.1	0.9	2.2
1990	4.1	3	1.2	0.3	-5.5	-5.6	-8.9	-6.8	-4.3	-0.3	2.2	1.4
1991	2.1	1.5	5	2.2	-4.7	-8	-10.5	-8.6	-3.1	-1.9	1.4	0.8
1992	2.8	1.7	1.8	-0.5	-6.2	-6.9	-9.3	-5.5	-4	-0.6	0.5	2.6
1993	2.7	1.8	2.5	1.7	-3.7	-8.8	-7.4	-5.9	-2.3	0	2.4	3.5
1994	3.8	5	3.2	2	-3	-7.5	-7.7	-7.7	-1.9	-0.7	2.8	3.9
1995	4.4	2.2	2.8	-1.4	-7.3	-10.3	-10.3	-9.4	-4.8	-3	-0.9	-0.4
1996	1.8	2.4	1.3	0.6	-4.1	-10.1	-10.3	-7	-6.4	-3.4	-0.5	2.1
1997	3.2	2.7	1.7	-2.1	-5.3	-10.7	-9.6	-5.3	-2.6	0	1.8	1.7
1998	2.2	3.9	3.4	-0.3	-8.1	-7.1	-9.6	-6.1	-5.4	-0.1	-0.1	0.5
1999	2.2	2.8	2.7	0.5	-4.4	-10.4	-9.8	-7.4	-4.9	-1	-2.7	0.4

FUENTE: Elaboración propia

Figura N° 12.Variación temporal de la temperatura media de las mínimas (°C) Estación Chuquibambilla



FUENTE: Elaboración propia

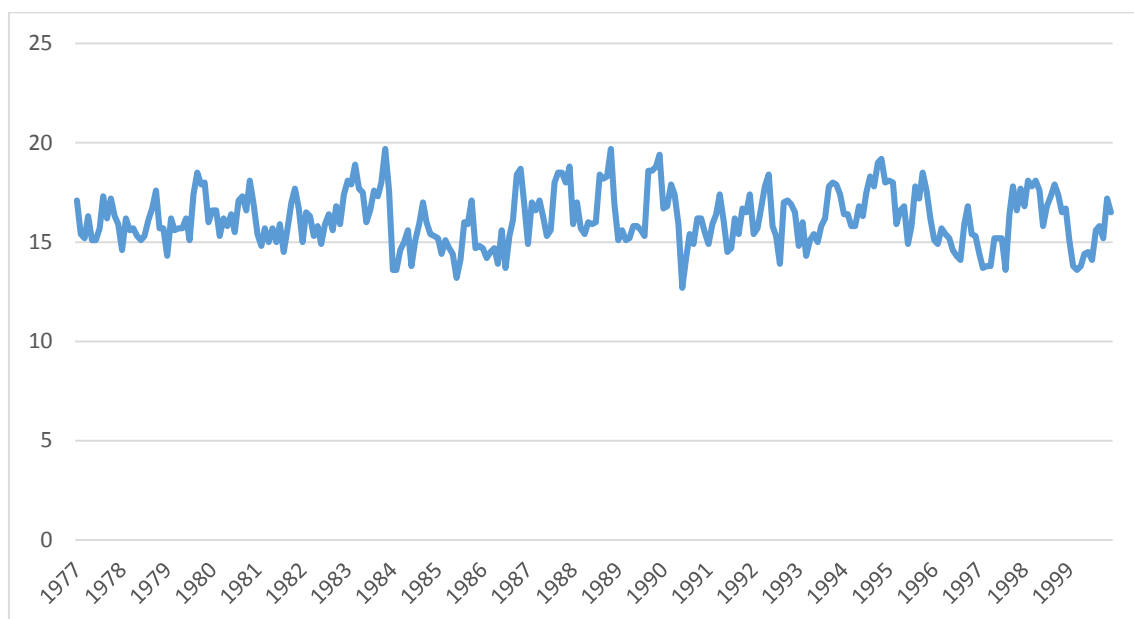
Cuadro N° 16. Variación temporal de la temperatura media de las maximas (°C) Estacion

Chuquibambilla

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiem	Octubre	Noviem	Diciem
1977	17.1	15.4	15.2	16.3	15.1	15.1	15.7	17.3	16.2	17.2	16.3	15.9
1978	14.6	16.2	15.6	15.7	15.3	15.1	15.3	16.1	16.7	17.6	15.7	15.7
1979	14.3	16.2	15.6	15.7	15.7	16.2	15.1	17.4	18.5	17.9	18	16
1980	16.6	16.6	15.3	16.2	15.8	16.4	15.5	17.1	17.3	16.6	18.1	16.9
1981	15.4	14.8	15.7	15	15.7	15	15.9	14.5	15.7	17	17.7	16.7
1982	15	16.5	16.3	15.3	15.8	14.9	15.9	16.4	15.6	16.8	15.9	17.4
1983	18.1	17.9	18.9	17.7	17.5	16	16.6	17.6	17.3	18	19.7	17.6
1984	13.6	13.6	14.6	15	15.6	13.8	15.1	15.9	17	16	15.4	15.3
1985	15.2	14.4	15.1	14.7	14.4	13.2	14.1	16	15.9	17.1	14.7	14.8
1986	14.7	14.2	14.5	14.7	13.9	15.6	13.7	15.3	16.1	18.4	18.7	16.8
1987	14.9	17	16.6	17.1	16.3	15.3	15.6	18	18.5	18.5	18	18.8
1988	15.9	17	15.7	15.4	16	15.9	16	18.4	18.2	18.3	19.7	16.9
1989	15.1	15.6	15.1	15.2	15.8	15.8	15.6	15.3	18.6	18.6	18.8	19.4
1990	16.7	16.8	17.9	17.4	15.9	12.7	14.2	15.4	14.9	16.2	16.2	15.5
1991	14.9	15.9	16.4	17.4	16.1	14.5	14.7	16.2	15.4	16.7	16.5	17.4
1992	15.4	15.7	16.7	17.8	18.4	15.8	15.3	13.9	17	17.1	16.9	16.5
1993	14.8	16	14.3	15.1	15.4	15	15.8	16.2	17.8	18	17.9	17.4
1994	16.4	16.4	15.8	15.8	16.8	16.3	17.5	18.3	17.8	19	19.2	18
1995	18.1	18	15.9	16.6	16.8	14.9	15.8	17.8	17.2	18.5	17.6	16.2
1996	15.1	14.9	15.7	15.4	15.2	14.6	14.3	14.1	15.9	16.8	15.4	15.3
1997	14.4	13.7	13.8	13.8	15.2	15.2	15.2	13.6	16.4	17.8	16.6	17.7
1998	16.8	18.1	17.8	18.1	17.6	15.8	16.8	17.3	17.9	17.4	16.5	16.7
1999	15.1	13.8	13.6	13.8	14.4	14.5	14.1	15.6	15.8	15.2	17.2	16.5

FUENTE: Elaboración propia

Grafico N° 13. Variación temporal de la temperatura media de las máximas (°C) Estación Chuquibambilla



FUENTE: Elaboración propia

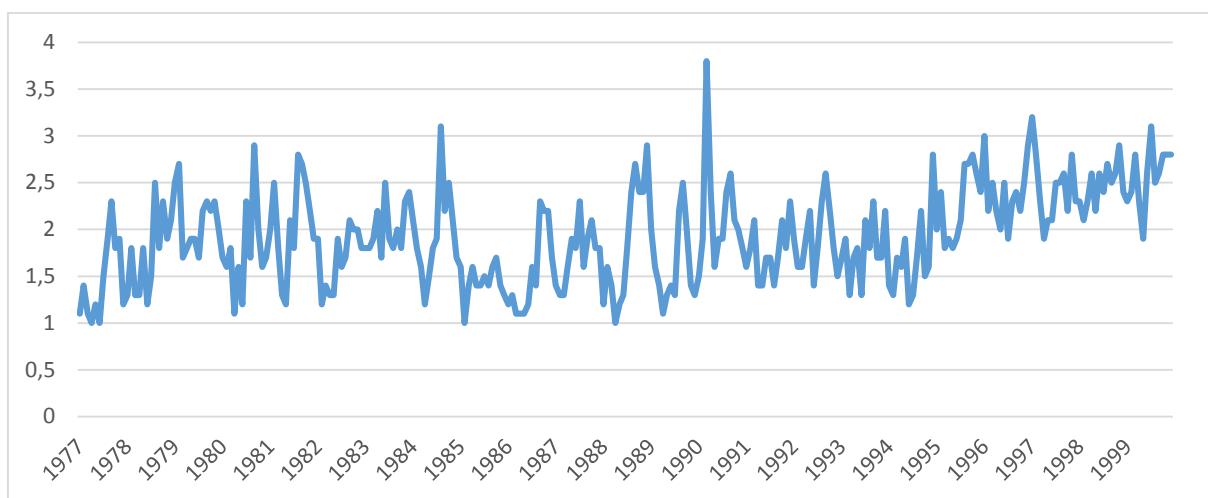
El viento posee un comportamiento cíclico similar a las demás variables climáticas, esto se puede observar en la siguiente figura para el período de calibración.

Cuadro N° 17. Variación temporal de la velocidad del viento (m/s) Estación Chuquibambilla

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiem	Octubre	Noviem	Diciem
1977	1.1	1.4	1.1	1	1.2	1	1.5	1.9	2.3	1.8	1.9	1.2
1978	1.3	1.8	1.3	1.3	1.8	1.2	1.5	2.5	1.8	2.3	1.9	2.1
1979	2.5	2.7	1.7	1.8	1.9	1.9	1.7	2.2	2.3	2.2	2.3	2
1980	1.7	1.6	1.8	1.1	1.6	1.2	2.3	1.7	2.9	2	1.6	1.7
1981	2	2.5	1.8	1.3	1.2	2.1	1.8	2.8	2.7	2.5	2.2	1.9
1982	1.9	1.2	1.4	1.3	1.3	1.9	1.6	1.7	2.1	2	2	1.8
1983	1.8	1.8	1.9	2.2	1.7	2.5	1.9	1.8	2	1.8	2.3	2.4
1984	2.1	1.8	1.6	1.2	1.5	1.8	1.9	3.1	2.2	2.5	2.1	1.7
1985	1.6	1	1.4	1.6	1.4	1.4	1.5	1.4	1.6	1.7	1.4	1.3
1986	1.2	1.3	1.1	1.1	1.1	1.2	1.6	1.4	2.3	2.2	2.2	1.7
1987	1.4	1.3	1.3	1.6	1.9	1.8	2.3	1.6	1.9	2.1	1.8	1.8
1988	1.2	1.6	1.4	1	1.2	1.3	1.8	2.4	2.7	2.4	2.4	2.9
1989	2	1.6	1.4	1.1	1.3	1.4	1.3	2.2	2.5	2	1.4	1.3
1990	1.5	1.9	3.8	2.4	1.6	1.9	1.9	2.4	2.6	2.1	2	1.8
1991	1.6	1.8	2.1	1.4	1.4	1.7	1.7	1.4	1.7	2.1	1.8	2.3
1992	1.9	1.6	1.6	1.9	2.2	1.4	1.8	2.3	2.6	2.2	1.8	1.5
1993	1.7	1.9	1.3	1.7	1.8	1.3	2.1	1.8	2.3	1.7	1.7	2.2
1994	1.4	1.3	1.7	1.6	1.9	1.2	1.3	1.7	2.2	1.5	1.6	2.8
1995	2	2.4	1.8	1.9	1.8	1.9	2.1	2.7	2.7	2.8	2.6	2.4
1996	3	2.2	2.5	2.2	2	2.5	1.9	2.3	2.4	2.2	2.5	2.9
1997	3.2	2.8	2.3	1.9	2.1	2.1	2.5	2.5	2.6	2.2	2.8	2.3
1998	2.3	2.1	2.3	2.6	2.2	2.6	2.4	2.7	2.5	2.6	2.9	2.4
1999	2.3	2.4	2.8	2.3	1.9	2.6	3.1	2.5	2.6	2.8	2.8	2.8

FUENTE: Elaboración propia

Grafico N° 14. Variación temporal de la velocidad del viento (m/s) Estación Chuquibambilla



FUENTE: Elaboración propia

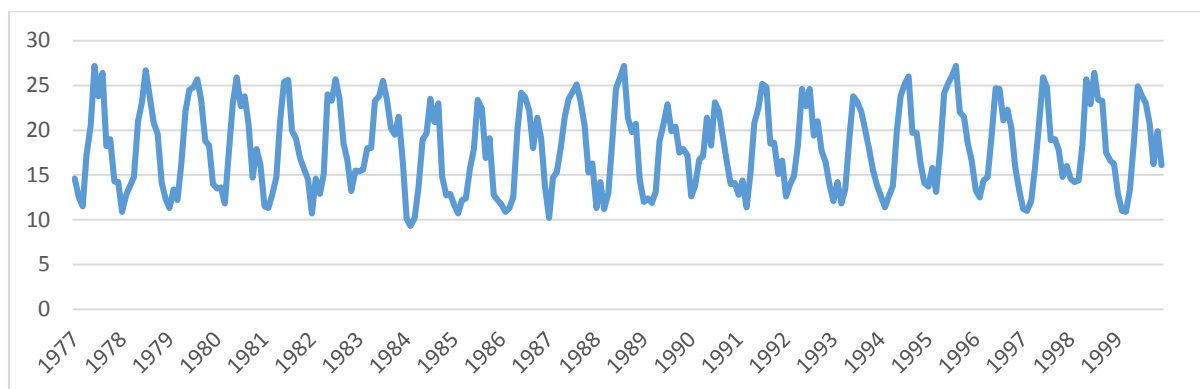
El rango de temperatura (diferencia entre la temperatura media de las máximas y mínimas) es una variable importante que estima muy bien la evapotranspiración de referencia, por consiguiente es necesario conocer su comportamiento temporal. Este se muestra en la siguiente figura.

Cuadro N° 18. Variación temporal del rango de temperatura (°C) Estación Chuquibambilla

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiem	Octubre	Noviem	Diciem
1977	14.6	12.5	11.5	17.3	20.5	27.2	23.8	26.4	18.2	19.0	14.3	14.2
1978	10.9	12.8	13.8	14.8	21.0	23.1	26.7	23.6	20.8	19.6	14.1	12.3
1979	11.3	13.4	12.2	16.2	22.1	24.5	24.8	25.7	23.4	18.8	18.3	14.0
1980	13.5	13.6	11.8	17.8	23.0	25.9	22.7	23.8	20.7	14.7	17.9	16.2
1981	11.5	11.3	12.8	14.8	21.1	25.4	25.6	19.9	19.1	16.9	15.7	14.5
1982	10.7	14.6	12.9	15.1	24.0	23.3	25.7	23.6	18.5	16.6	13.2	15.5
1983	15.4	15.6	18.0	18.0	23.3	23.8	25.5	23.5	20.2	19.5	21.5	16.5
1984	10.1	9.3	10.2	13.6	19.0	19.6	23.5	20.9	23.0	14.8	12.7	12.9
1985	11.7	10.7	12.2	12.4	15.8	17.9	23.4	22.4	16.9	19.1	12.8	12.2
1986	11.7	10.9	11.3	12.5	20.0	24.2	23.7	22.2	18.0	21.4	19.1	13.8
1987	10.2	14.7	15.3	18.2	21.5	23.5	24.3	25.1	23.3	20.5	15.3	16.3
1988	11.3	14.2	11.2	13.0	18.6	24.7	25.9	27.2	21.4	19.8	20.7	14.5
1989	12.0	12.4	11.9	13.1	18.8	20.8	22.9	19.9	20.4	17.5	17.9	17.2
1990	12.6	13.8	16.7	17.1	21.4	18.3	23.1	22.2	19.2	16.5	14.0	14.1
1991	12.8	14.4	11.4	15.2	20.8	22.5	25.2	24.8	18.5	18.6	15.1	16.6
1992	12.6	14.0	14.9	18.3	24.6	22.7	24.6	19.4	21.0	17.7	16.4	13.9
1993	12.1	14.2	11.8	13.4	19.1	23.8	23.2	22.1	20.1	18.0	15.5	13.9
1994	12.6	11.4	12.6	13.8	19.8	23.8	25.2	26.0	19.7	19.7	16.4	14.1
1995	13.7	15.8	13.1	18.0	24.1	25.2	26.1	27.2	22.0	21.5	18.5	16.6
1996	13.3	12.5	14.4	14.8	19.3	24.7	24.6	21.1	22.3	20.2	15.9	13.2
1997	11.2	11.0	12.1	15.9	20.5	25.9	24.8	18.9	19.0	17.8	14.8	16.0
1998	14.6	14.2	14.4	18.4	25.7	22.9	26.4	23.4	23.3	17.5	16.6	16.2
1999	12.9	11.0	10.9	13.3	18.8	24.9	23.9	23.0	20.7	16.2	19.9	16.1

FUENTE: Elaboración propia

Figura N° 15. Variación temporal del rango de temperatura (°C) Estación Chuquibambilla



FUENTE: Elaboración propia

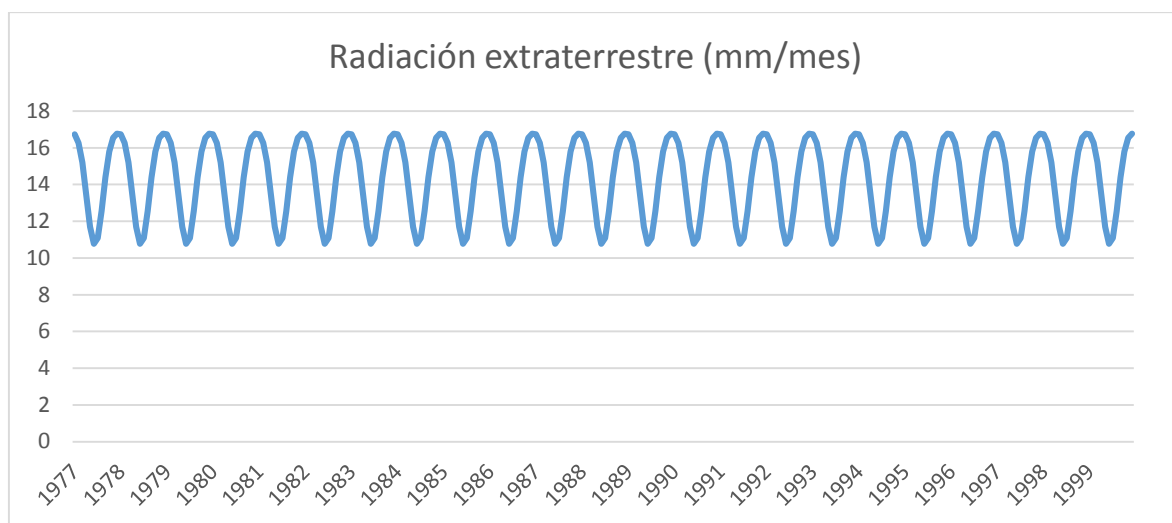
La radiación extraterrestre es una variable que depende de la latitud de la estación, su comportamiento solo varía de mes a mes. En la siguiente figura se presenta su variación para el período de calibración.

Cuadro N° 19. Variación temporal de la radiación extraterrestre (mm/mes) Estación Chuquibambilla

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiem	Octubre	Noviem	Diciem
1977	16.73	16.27	15.21	13.44	11.71	10.78	11.10	12.55	14.40	15.80	16.54	16.77
1978	16.73	16.27	15.21	13.44	11.71	10.78	11.10	12.55	14.40	15.80	16.54	16.77
1979	16.73	16.27	15.21	13.44	11.71	10.78	11.10	12.55	14.40	15.80	16.54	16.77
1980	16.73	16.27	15.21	13.44	11.71	10.78	11.10	12.55	14.40	15.80	16.54	16.77
1981	16.73	16.27	15.21	13.44	11.71	10.78	11.10	12.55	14.40	15.80	16.54	16.77
1982	16.73	16.27	15.21	13.44	11.71	10.78	11.10	12.55	14.40	15.80	16.54	16.77
1983	16.73	16.27	15.21	13.44	11.71	10.78	11.10	12.55	14.40	15.80	16.54	16.77
1984	16.73	16.27	15.21	13.44	11.71	10.78	11.10	12.55	14.40	15.80	16.54	16.77
1985	16.73	16.27	15.21	13.44	11.71	10.78	11.10	12.55	14.40	15.80	16.54	16.77
1986	16.73	16.27	15.21	13.44	11.71	10.78	11.10	12.55	14.40	15.80	16.54	16.77
1987	16.73	16.27	15.21	13.44	11.71	10.78	11.10	12.55	14.40	15.80	16.54	16.77
1988	16.73	16.27	15.21	13.44	11.71	10.78	11.10	12.55	14.40	15.80	16.54	16.77
1989	16.73	16.27	15.21	13.44	11.71	10.78	11.10	12.55	14.40	15.80	16.54	16.77
1990	16.73	16.27	15.21	13.44	11.71	10.78	11.10	12.55	14.40	15.80	16.54	16.77
1991	16.73	16.27	15.21	13.44	11.71	10.78	11.10	12.55	14.40	15.80	16.54	16.77
1992	16.73	16.27	15.21	13.44	11.71	10.78	11.10	12.55	14.40	15.80	16.54	16.77
1993	16.73	16.27	15.21	13.44	11.71	10.78	11.10	12.55	14.40	15.80	16.54	16.77
1994	16.73	16.27	15.21	13.44	11.71	10.78	11.10	12.55	14.40	15.80	16.54	16.77
1995	16.73	16.27	15.21	13.44	11.71	10.78	11.10	12.55	14.40	15.80	16.54	16.77
1996	16.73	16.27	15.21	13.44	11.71	10.78	11.10	12.55	14.40	15.80	16.54	16.77
1997	16.73	16.27	15.21	13.44	11.71	10.78	11.10	12.55	14.40	15.80	16.54	16.77
1998	16.73	16.27	15.21	13.44	11.71	10.78	11.10	12.55	14.40	15.80	16.54	16.77
1999	16.73	16.27	15.21	13.44	11.71	10.78	11.10	12.55	14.40	15.80	16.54	16.77

FUENTE: Elaboración propia

Figura N° 16. Variación temporal de la radiación extraterrestre (mm/mes) Estación Chuquibambilla



FUENTE: Elaboración propia

4.2.3. Calibración

La calibración del modelo que representa la relación se hizo utilizando regresión múltiple con dos métodos de estimación de parámetros: mínimos cuadrados ordinarios (MCO) y máxima verosimilitud (MV).

Primero se realizó la determinación del modelo de regresión sin transformar las variables, como muestra el cuadro siguiente. En el cuadro siguiente ETo = evapotranspiración de referencia, $u \times Def$ = velocidad del viento multiplicada por el déficit de presión de vapor (m/s \times Pa), Ra = radiación extraterrestre (mm/día), Osci = oscilación de la temperatura (°C).

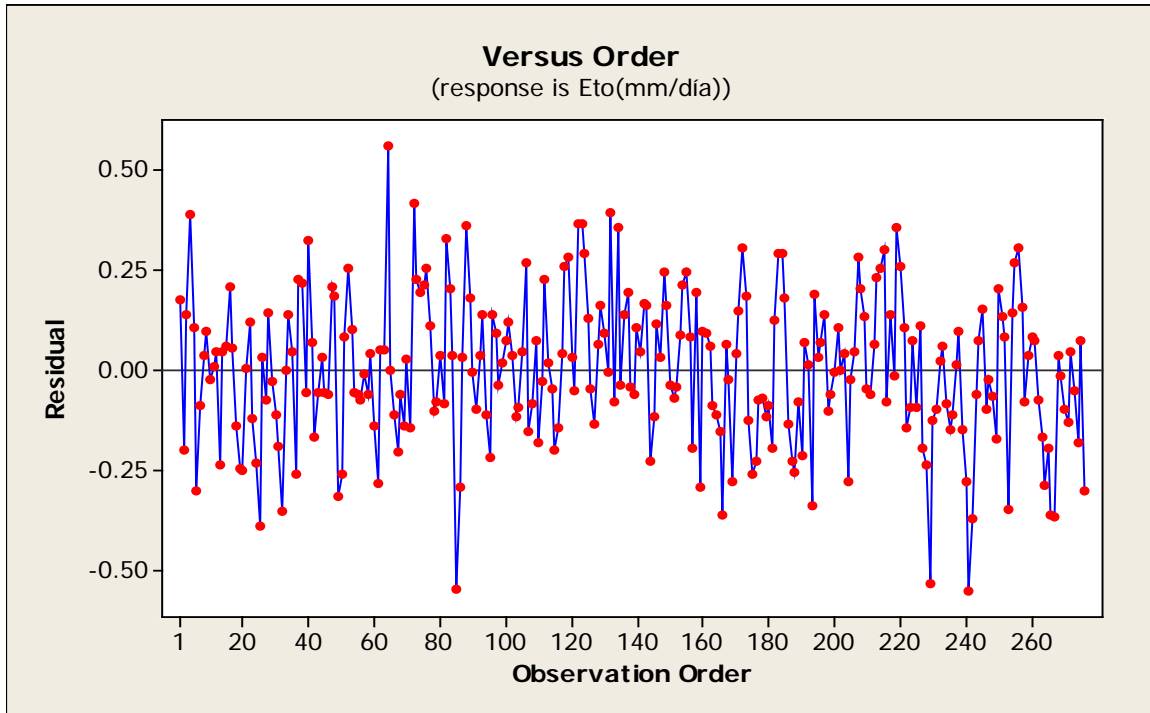
Cuadro 20. Resultados de regresión sin transformar variables

Regression Analysis: Eto(mm/día) versus $u \times Def$, Ra (mm/día), Osci(°C)					
The regression equation is					
Eto(mm/día) = - 1.02 + 0.000690 $u \times Def$ + 0.197 Ra (mm/día) + 0.0581 Osci(°C)					
Predictor	Coef	SE Coef	T	P	
Constant	-1.0177	0.1960	-5.19	0.000	
$u \times Def$	0.00069048	0.00004045	17.07	0.000	
Ra (mm/día)	0.196724	0.009866	19.94	0.000	
Osci(°C)	0.058135	0.004562	12.74	0.000	
S = 0.184815 R-Sq = 86.1% R-Sq(adj) = 85.9%					
Analysis of Variance					
Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	57.543	19.181	561.56	0.000
Residual Error	272	9.291	0.034		
Total	275	66.834			
Source	DF	Seq SS			
$u \times Def$	1	41.877			
Ra (mm/día)	1	10.120			
Osci(°C)	1	5.546			

FUENTE: Elaboración propia

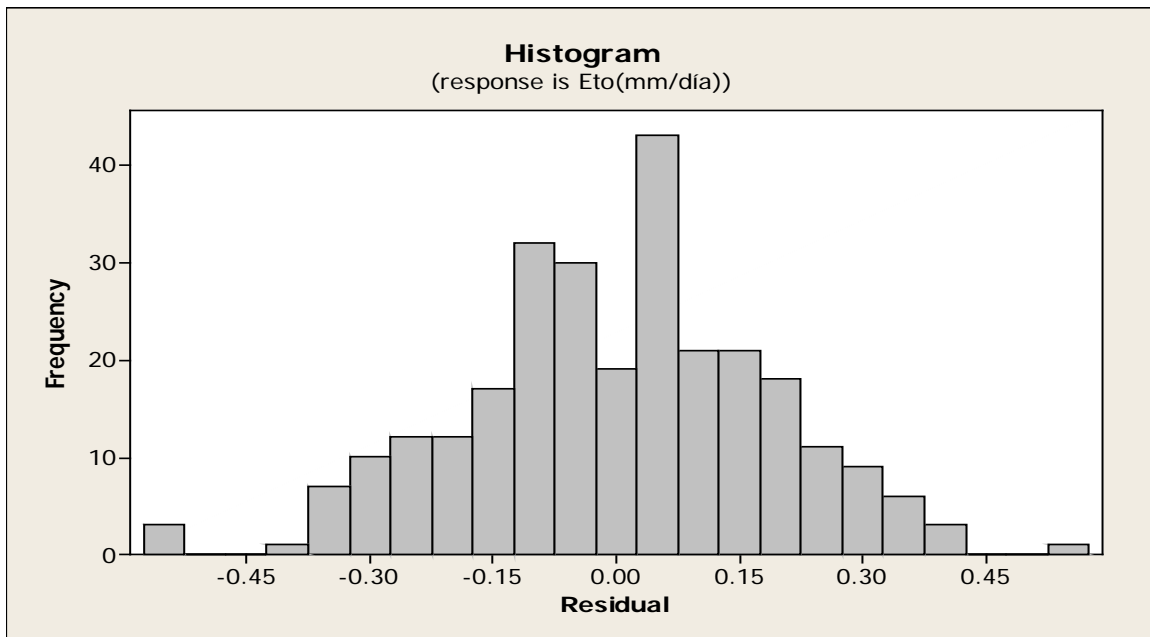
En los siguientes graficos se presenta las características de los residuales.

Figura N° 17. Residuales respecto al orden de datos



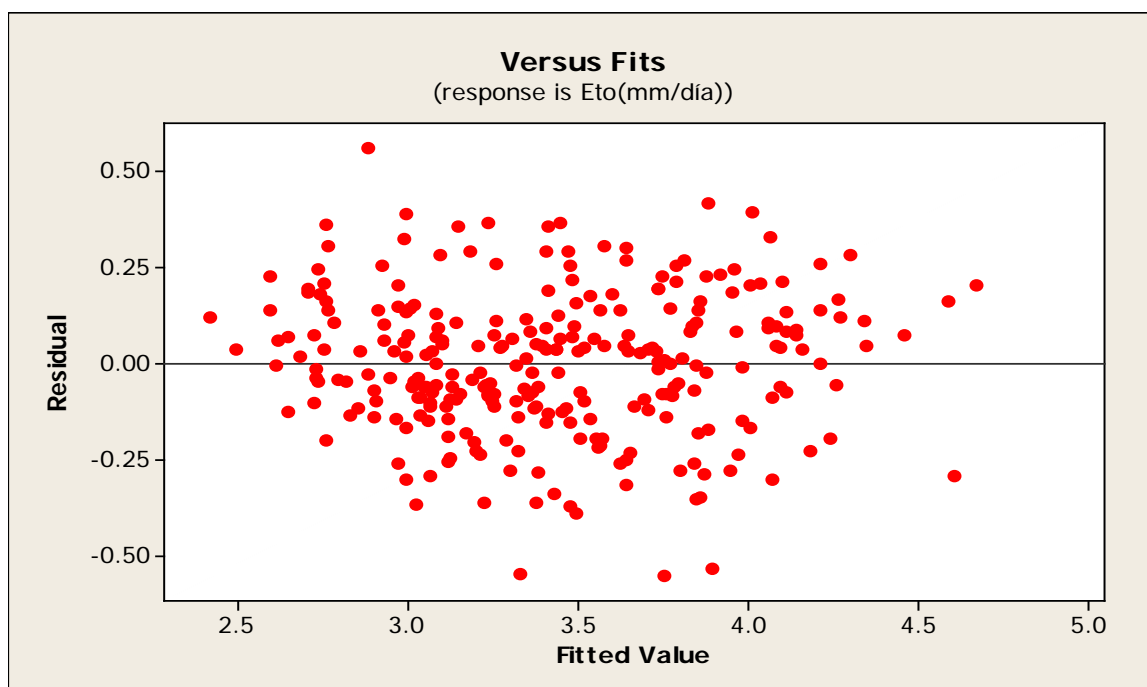
FUENTE: Elaboración propia

Grafico N° 18. Histograma de residuales



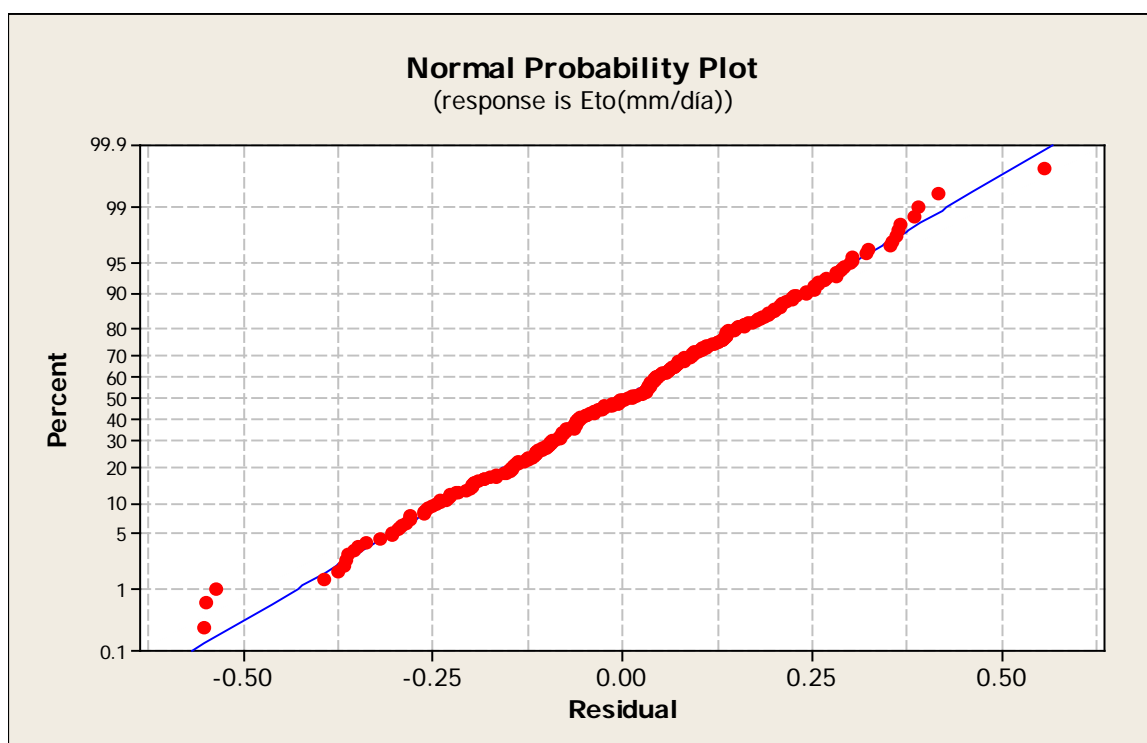
FUENTE: Elaboración propia

Figura N° 19. Residuales respecto a los valores ajustados



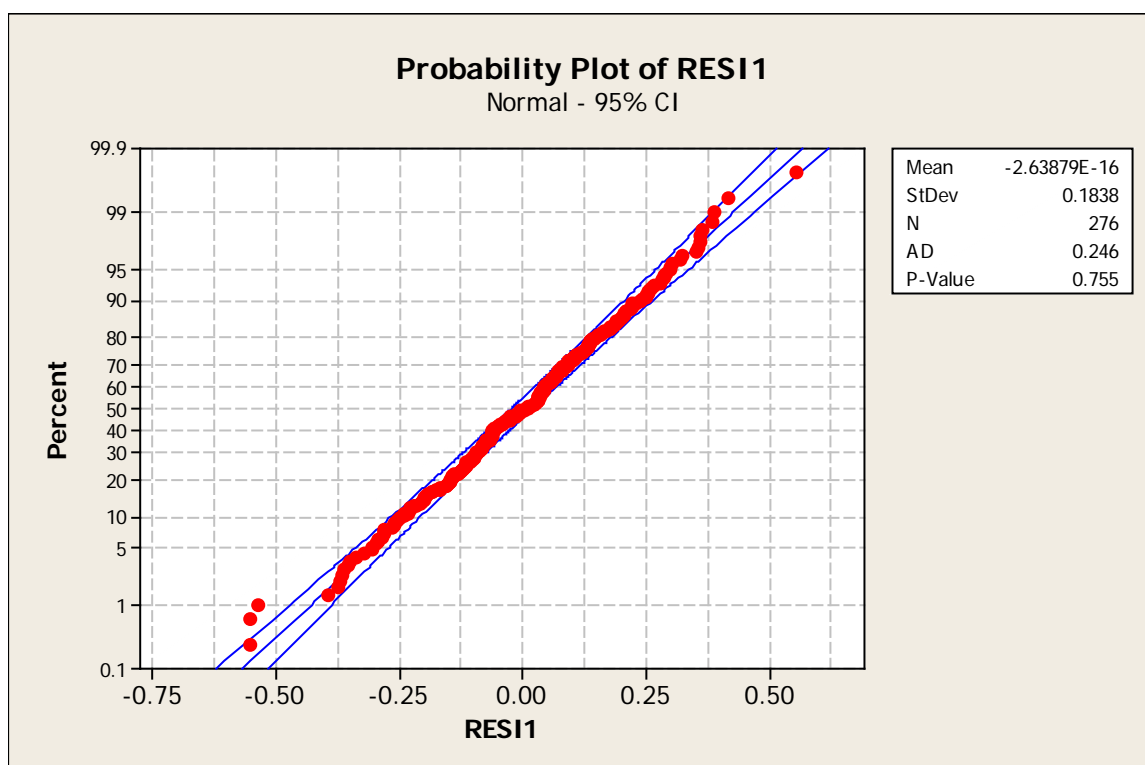
FUENTE: Elaboración propia

Gráfico N° 20 Gráfico probabilidad de los residuales



FUENTE: Elaboración propia

Figura. N° 21 Prueba gráfica de normalidad de los residuales



FUENTE: Elaboración propia

El coeficiente de determinación $r^2 = 86.1\%$ muestra que más del 86% de la varianza de la ETo es explicado por las variables independientes, por tanto existe una alta bondad de ajuste. Todas las variables independientes son estadísticamente significativas al 5% de nivel de significancia, es decir son significativamente diferentes de cero. El análisis de varianza muestra que se rechaza la hipótesis que $r^2=0$, por tanto r^2 es significativamente diferente de cero. En resumen se tiene un modelo de regresión adecuado.

Así el modelo que representa la relación es

$$Eto = -1.02 + 0.000690 u \times Def + 0.197 Ra + 0.0581 Osci$$

Donde:

Eto = evapotranspiración de referencia (equivalente a la ETP) en mm/día.

u = velocidad del viento (m/s).

Def = déficit de presión de vapor (Pa).

$$Def = e_s - e_a$$

e_s = presión de vapor de saturación (Pa).

e_a = presión de vapor actual (Pa).

R_a = radiación extraterrestre (mm/día).

Osci = oscilación de la temperatura (°C).

$$Osci = T_{max} - T_{min}$$

T_{max} = temperatura media de las máximas (°C).

T_{min} = temperatura media de las mínimas (°C).

Los gráficos muestran que los residuales tienen varianza homogénea, histograma normal y la prueba gráfica de normalidad afirma que son datos normales puesto que están dentro de los límites de confianza. Así mismo, la prueba de Anderson – Darling acepta la normalidad de los residuales.

4.2.4. Validación del modelo

El modelo se validó calculando los valores de Eto aplicando el modelo al período de validación. En el siguiente gráfico se presenta la comparación entre la Eto calculada con el modelo de regresión y la Eto observada calculada con el método de Penman-Montheit.

Cuadro N° 21 eto Observado (mm/día)

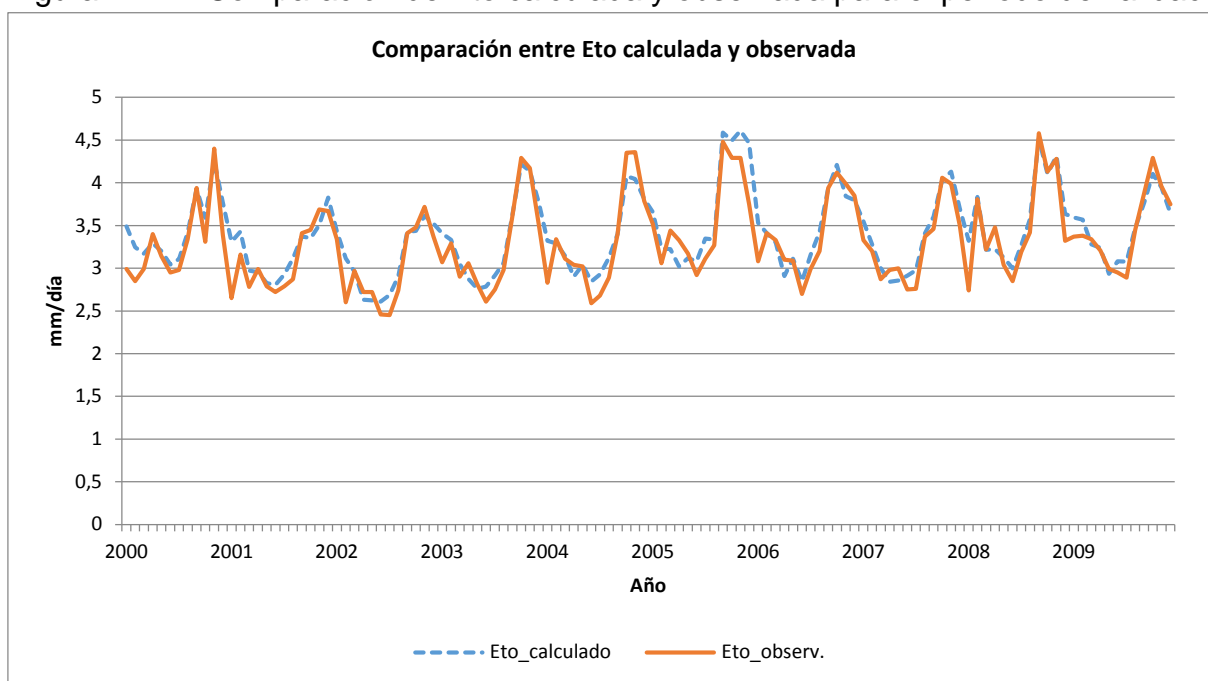
AÑO	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiem	Octubre	Noviem	Diciem
2000	2.99	2.85	2.99	3.40	3.14	2.95	2.98	3.34	3.94	3.31	4.40	3.39
2001	2.65	3.16	2.78	2.99	2.79	2.72	2.79	2.87	3.41	3.45	3.69	3.67
2002	3.34	2.60	2.97	2.72	2.72	2.46	2.45	2.74	3.41	3.48	3.72	3.37
2003	3.07	3.29	2.90	3.06	2.81	2.61	2.75	2.98	3.60	4.29	4.17	3.51
2004	2.83	3.34	3.11	3.04	3.02	2.59	2.68	2.89	3.40	4.35	4.36	3.79
2005	3.52	3.06	3.44	3.33	3.17	2.92	3.11	3.27	4.48	4.29	4.29	3.75
2006	3.08	3.41	3.33	3.10	3.09	2.70	2.99	3.20	3.94	4.12	3.99	3.85
2007	3.33	3.20	2.87	2.98	3.00	2.75	2.76	3.37	3.46	4.06	3.99	3.50
2008	2.74	3.81	3.22	3.48	3.04	2.85	3.19	3.42	4.58	4.13	4.28	3.32
2009	3.37	3.38	3.34	3.21	2.99	2.95	2.89	3.45	3.88	4.29	3.96	3.75

Cuadro N° 22 eto calculado (mm/día)

AÑO	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiem	Octubre	Noviem	Diciem
2000	3.49	3.24	3.17	3.29	3.20	3.04	3.11	3.41	3.93	3.59	4.26	3.77
2001	3.31	3.43	2.97	2.96	2.82	2.80	2.93	3.12	3.37	3.35	3.50	3.83
2002	3.43	3.12	2.96	2.63	2.62	2.61	2.69	2.90	3.43	3.44	3.61	3.52
2003	3.41	3.33	3.05	2.88	2.76	2.79	2.92	3.06	3.62	4.22	4.14	3.77
2004	3.32	3.29	3.15	2.90	3.04	2.85	2.93	3.12	3.40	4.08	4.04	3.81
2005	3.66	3.23	3.22	3.02	3.12	3.08	3.35	3.34	4.59	4.50	4.61	4.46
2006	3.53	3.41	3.30	2.91	3.11	2.84	3.15	3.42	3.93	4.21	3.84	3.80
2007	3.55	3.28	3.00	2.84	2.86	2.91	2.98	3.41	3.60	4.03	4.13	3.70
2008	3.32	3.84	3.22	3.22	3.12	3.00	3.27	3.57	4.52	4.10	4.32	3.64
2009	3.59	3.57	3.28	3.24	2.93	3.08	3.08	3.47	3.77	4.10	3.95	3.64

FUENTE: Elaboración propia

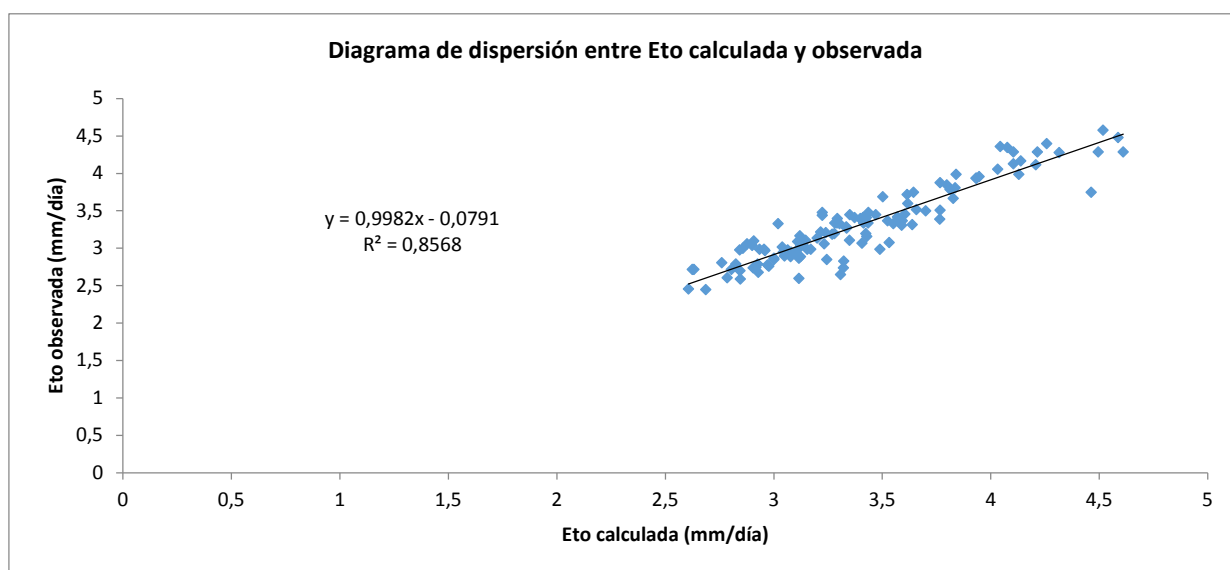
Figura. N° 22 Comparación de Eto calculada y observada para el período de validación



FUENTE: Elaboración propia

También se hizo un diagrama de dispersión donde en las abscisas es la Eto calculada y las ordenadas es la Eto observada.

Figura. N° 23 Diagrama de dispersión entre la Eto calculada y observada



FUENTE: Elaboración propia.

El diagrama de dispersión muestra una alta concordancia entre la Eto calculada y observada en el período de validación. Así mismo, el coeficiente de determinación $r^2 = 0.8568$ corresponde a una correlación de 0.9256, por tanto, existe una buena concordancia entre los datos calculados de Eto y los datos observados de Eto.

CAPITULO V.

CONCLUSIONES

- ✓ El coeficiente de determinación $r^2 = 86.1\%$ muestra que más del 86% de la varianza de la ETo es explicado por las variables independientes: velocidad del viento multiplicada al déficit de presión de vapor, radiación extraterrestre y oscilación de la temperatura, por tanto existe una alta bondad de ajuste.
- ✓ Todas las variables independientes son estadísticamente significativas al 5% de nivel de significancia, es decir son significativamente diferentes de cero. El análisis de varianza muestra que se rechaza la hipótesis que $r^2=0$, por tanto r^2 es significativamente diferente de cero. En resumen se tiene un modelo de regresión adecuado.
- ✓ Los residuales del modelo de regresión tienen varianza homogénea, histograma normal y la prueba gráfica de normalidad afirma que son datos normales puesto que y están dentro de los límites de confianza a un 95%. Así mismo, la prueba de Anderson – Darling acepta la normalidad de los residuales.
- ✓ Existe una alta concordancia entre la Eto calculada y observada en el período de validación. Así mismo, el coeficiente de determinación $r^2 = 0.8568$ corresponde a una correlación de 0.9256, por tanto, existe una buena concordancia entre los datos calculados de Eto y los datos observados de Eto.

CAPITULO VI.

RECOMENDACIONES

- ✓ Aplicar la relación (modelo) obtenida para la estación de Chuquibambilla y lugares cercanos porque se probó su buen desempeño frente a otros métodos de cálculo de evapotranspiración de referencia.
- ✓ Verificar la confiabilidad de los datos climáticos debido a que existen errores en las mediciones que podrían influir mucho en la obtención de un modelo eficiente para estimar la evapotranspiración de referencia.
- ✓ Realizar modelos similares en otras estaciones en la región de Puno considerando en él otros factores climáticos que tengan relación física con la evapotranspiración de referencia.
- ✓ Analizar de manera regional el comportamiento climático de los últimos años debido a que existe la hipótesis que el cambio climático influye en los valores de evapotranspiración de referencia haciéndolos estadísticamente diferentes en su media y varianza a los años anteriores.

CAPITULO VII. BIBLIOGRAFÍA

- Allen; Pereira, L.; Raes, D. and Smith, M. (1998). Crop Evaporation-Guidelines for computing crop water requeriments-FAO Irrigation and Drainage. *Paper 56 FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome Italy.*
- Garcia V. J.; Sanchez C. O. y Paredes R. (1999). *Metodo de estimacion de la Evapotranspiracion potencial en Funcion del Rango Diurno de Temperatura (DT) y radiacion Solar Extraterrestre (Qs).* Lima Peru: Anales Cientificos Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Alcantara, R. J. (1986). *Calculo de la demanda de agua de un Proyecto de Riego. Curso de Hidrologia Aplicada.* Lima Peru: Asociacion de Ingenieros Agricolas del Peru.
- American Society of Civel Engineers. (1973). Consumptive use of water and irrigation Water requeriments. *Ed. By M. E. Jensen, Technical Commitee on Irregation Water Requirements. New York.*
- Aparicio Mijares, F. (1993). *Fundamentos de Hidrologia de Superficie.* Mexico: Editorial Limusa S. A. de C.V. Grupo Noriega Editores.
- Chang Navarro, L. (1993). *Manejo de las Cuencas Hidrograficas en el Peru.* Lima Peru: Proyecto de Fomento de Transferencia de la Tecnologia.
- Chereque, M. (1989). *Hidrologia.* Lima Peru: CONCYTEC Pontificia Universidad Catolica de Lima. Pag 146.
- Chow,V. T; Maidment, D.R. y Mayes, L. W. (1994). *Hidrologia Aplicada.* Santa Fe de Bogota Colombia: Primera edicion McGRAW-HILL 584 pags.

- Doorenbos, J. y. (1977). *Las Necesidades de Agua por los Cultivos*. Roma Italia: FAO Naciones Unidas (Publicacion N° 24).
- Dourojeanni, R. (1978). Principios para elaborar un Plan de Proteccion de Cuencas. *Boletin Tecnico N° 11 Ministerio de Agricultura Lima Peru*, 24 pags.
- FAO. (2006). *Evapotranspiracion del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Roma-Italia: Estudio de riego Drenaje (FAO) Publicacion 56.
- Fuentes Yague, J.L. (1996). *Tecnicas de Riego*. Madrid España: Segunda edicion Ediciones Mundi-Prensa 471 Pgs.
- Garcia Benavides,J. y Lopez Diaz, J. (1970). *Formula para el Calculo de la evapotranspiracion Potencial Adoptada al Tropico*. Maracay Venezuela: Centro de Investigaciones Agronomicas.
- Gurovich, R. L. (1999). *Riego Superficial tecnificado*. D. F. Mexico: Segunda Edicion Alfaomega Grupo Editor S.A. de C.V. Mexico.
- Harnet, D.L. y Murray, J.L. (1980). *Introductory Statistical Analysis*. Massachussets USA: Addison Wesley 712 Pags.
- Irmak, S. y Haman, D.Z. (2003). *Evapotranspiration Potential or Reference*. Florida EE. UU. 3Pgs.: eries of the agricultural and Biological Engineering Departament, Institute of Food and Agricultural Sciences (IFAS) University of Florida.
- Mejia, M. A. (2001). *Hidrologia Aplicada Vol I*. Lima Peru: Editorial DRAT-UNALM 108 Pags.

Ojarte, W. (1987). *Manual de Riego por Gravedad*. Cusco Peru: Serie Manuales tecnico
N° 1 CCTA-Peru.

ONERN. (1980). *Inventario y Evaluacion Nacional de las aguas Superficiales*.

ONERN. (1980). *Plan Nacional de Ordenamiento de los Recursos Hidraulicos del Peru-
Bases Metodologicos*. Lima Peru: OEA CIDIAT-ONERN.

Raudkivi, A. J. (1979). *Hydrology*. Osford: Pergamon Press.

Santayana, V. S. (1990). *Ingenieria de recursos Hidricos*. Lima Peru: Departamento de
Recursos de Agua y Tierra UNALM .

Serruto C., R. (1993). *Una Nueva Formula para el Calculo de la Evapotranspiracion
Potencial*. Puno Peru: PIWA.

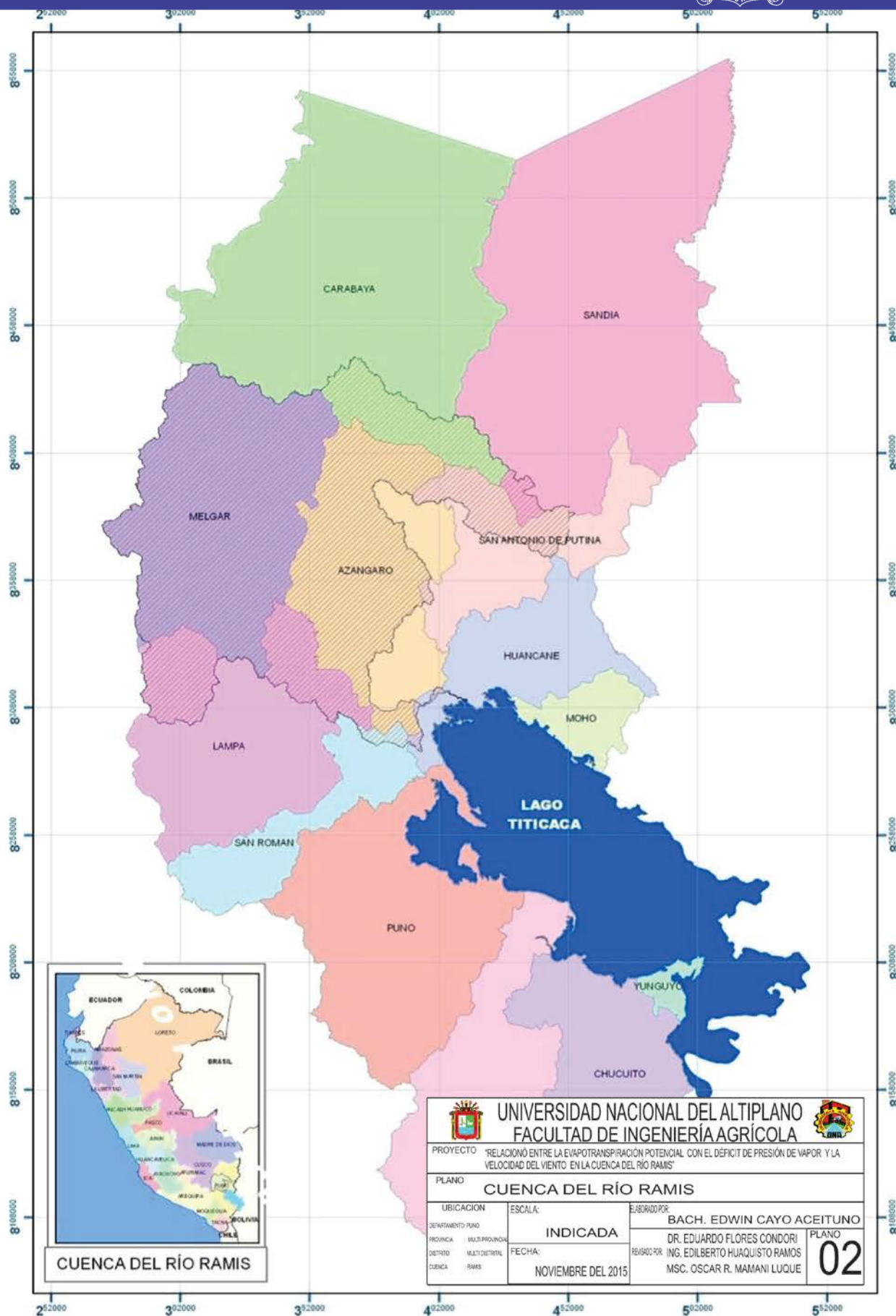
SESA. (1982). *Manual Silvo Agropecuario. Guia para Elaboracion de Diagnosticos. Tomo
II*. Cajamarca Peru: 136 Pgs.

Vasquez, V. A. (2000). *Manejo de Cuencas Alto Andinas. Tomo I*. Lima: Impreso en Peru
512 Pags.

Vasquez, V.A. y Chang, L. (1992). *El Riego Principios Basicos parte I*. Lima Peru: Publi-
DRAT.

VIII.ANEXOS





SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA - SENAMHI - PUNO												
DEPARTAMENTO:		PU		PROVINCIA:		MELGAF		DISTRITO:		UMACHIRI		INFORMACION: T. MAXIMA
ESTACION:		CO. 12076				LAT: 14°47'05.2"				LONG: 70°42'56.5"		ALT. 3971
CHUQUIBAMBILLA												
ANOS	ENER.	FEB.	MAR.	ABRL.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOT.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
1960	15.8	16.1	16.7	15.6	14.8	14.9	15.9	17.5	18.9	18.5	18.2	18.6
1961	18.7	17.2	18.0	16.9	15.9	16.3	16.3	17.4	18.7	20.4	19.1	17.7
1962	15.9	17.1	16.1	15.4	16.4	14.5	15.0	15.4	18.0	19.0	19.6	15.5
1963	16.0	15.8	17.3	16.3	15.5	15.0	16.3	18.1	16.7	18.9	19.9	18.4
1964	17.9	16.8	15.9	15.6	14.6	14.6	13.4	14.8	15.1	17.2	16.7	15.9
1965	14.8	14.9	15.1	15.8	16.6	15.2	13.6	15.4	16.0	15.5	15.2	16.1
1966	16.9	15.2	15.6	15.9	14.4	15.5	16.9	17.7	18.3	17.3	17.4	17.1
1967	17.9	15.9	15.2	17.0	17.0	16.5	14.6	15.7	17.0	16.9	18.8	15.6
1968	15.5	15.3	15.1	15.5	15.6	16.0	15.0	15.9	17.3	17.8	16.3	17.0
1969	16.2	16.2	17.0	17.9	17.7	16.1	15.9	17.1	17.5	19.1	19.5	18.0
1970	15.9	16.3	15.8	16.4	17.2	16.6	15.8	16.9	15.8	17.5	18.6	15.2
1971	15.2	13.9	15.2	15.3	15.1	14.6	15.1	16.1	17.9	17.4	17.0	15.0
1972	13.9	14.1	15.2	15.3	15.3	15.2	15.8	14.8	16.5	18.2	18.6	16.3
1973	15.0	15.7	16.3	15.8	15.8	15.4	14.7	15.5	15.5	17.6	17.1	15.9
1974	13.9	14.1	14.7	14.2	15.6	14.1	15.1	13.0	16.1	17.3	16.8	16.4
1975	13.6	13.5	14.2	15.3	14.7	14.2	15.3	17.2	16.9	16.4	17.5	15.1
1976	14.0	14.7	15.0	15.5	14.9	14.6	15.4	15.3	15.0	19.0	18.5	17.4
1977	17.1	15.4	15.2	16.3	15.1	15.1	15.7	17.3	16.2	17.2	16.3	15.9
1978	14.6	16.2	15.6	15.7	15.3	15.1	15.3	16.1	16.7	17.6	15.7	15.7
1979	14.3	16.2	15.6	15.7	15.7	16.2	15.1	17.4	18.5	17.9	18.0	16.0
1980	16.6	16.6	15.3	16.2	15.8	16.4	15.5	17.1	17.3	16.6	18.1	16.9
1981	15.4	14.8	15.7	15.0	15.7	15.0	15.9	14.5	15.7	17.0	17.7	16.7
1982	15.0	16.5	16.3	15.3	15.8	14.9	15.9	16.4	15.6	16.8	15.9	17.4
1983	18.1	17.9	18.9	17.7	17.5	16.0	16.6	17.6	17.3	18.0	19.7	17.6
1984	13.6	13.6	14.6	15.0	15.6	13.8	15.1	15.9	17.0	16.0	15.4	15.3
1985	15.2	14.4	15.1	14.7	14.4	13.2	14.1	16.0	15.9	17.1	14.7	14.8
1986	14.7	14.2	14.5	14.7	13.9	15.6	13.7	15.3	16.1	18.4	18.7	16.8
1987	14.9	17.0	16.6	17.1	16.3	15.3	15.6	18.0	18.5	18.5	18.0	18.8
1988	15.9	17.0	15.7	15.4	16.0	15.9	16.0	18.4	18.2	18.3	19.7	16.9
1989	15.1	15.6	15.1	15.2	15.8	15.8	15.6	15.3	18.6	18.6	18.8	19.4
1990	16.7	16.8	17.9	17.4	15.9	12.7	14.2	15.4	14.9	16.2	16.2	15.5
1991	14.9	15.9	16.4	17.4	16.1	14.5	14.7	16.2	15.4	16.7	16.5	17.4
1992	15.4	15.7	16.7	17.8	18.4	15.8	15.3	13.9	17.0	17.1	16.9	16.5
1993	14.8	16.0	14.3	15.1	15.4	15.0	15.8	16.2	17.8	18.0	17.9	17.4
1994	16.4	16.4	15.8	15.8	16.8	16.3	17.5	18.3	17.8	19.0	19.2	18.0
1995	18.1	18.0	15.9	16.6	16.8	14.9	15.8	17.8	17.2	18.5	17.6	16.2
1996	15.1	14.9	15.7	15.4	15.2	14.6	14.3	14.1	15.9	16.8	15.4	15.3
1997	14.4	13.7	13.8	13.8	15.2	15.2	15.2	13.6	16.4	17.8	16.6	17.7
1998	16.8	18.1	17.8	18.1	17.6	15.8	16.8	17.3	17.9	17.4	16.5	16.7
1999	15.1	13.8	13.6	13.8	14.4	14.5	14.1	15.6	15.8	15.2	17.2	16.5
2000	13.5	13.0	14.1	15.6	15.9	14.7	13.8	15.1	16.7	14.3	18.0	14.6
2001	12.8	13.2	13.2	14.7	14.8	14.6	14.2	14.5	16.7	17.3	18.5	17.0
2002	15.8	13.5	14.4	14.2	14.4	14.2	12.4	14.8	15.9	15.9	16.3	16.0
2003	15.6	15.5	14.9	15.2	15.2	14.6	14.6	14.6	16.0	17.6	18.3	16.8
2004	13.4	14.5	15.2	14.8	14.8	13.9	13.7	14.6	16.0	18.0	18.5	16.8
2005	16.0	15.2	16.2	16.8	16.2	15.7	16.1	16.7	17.7	17.1	16.8	16.5
2006	14.1	15.2	16.2	15.5	15.9	15.1	15.2	16.1	17.4	17.4	16.7	16.5
2007	15.5	15.6	14.0	16.2	15.8	16.8	14.5	16.7	16.2	17.6	16.5	15.3
2008	12.9	17.2	15.4	17.0	14.5	14.4	15.5	17.7	18.3	16.8	16.5	13.5
2009	13.9	14.2	15.1	15.3	15.2	15.2	14.4	18.1	17.5	19.2	17.3	16.1
2010	14.8	15.6	15.7	16.5	15.7							
TOTAL	783.6	790.2	794.9	806.7	800.2	756.1	758.3	806.4	843.3	875.9	874.9	825.7
MEDIA	15.4	15.5	15.6	15.8	15.7	15.1	15.2	16.1	16.9	17.5	17.5	16.5
FUENTE - SENAMHI-PUNO												

SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA - SENAMHI - PUNO												
DEPARTAMENTO:		PU		PROVINCIA:		MELGAF		DISTRITO:		UMACHIRI		INFORMACION: T. MINIMA
ESTACION:		CO. 12076				LAT: 14°47'05.2"				LONG: 70°42'56.5"		ALT. 3971
CHUQUIBAMBILLA												
ANOS	ENER.	FEB.	MAR.	ABRL.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOT.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
1960	2.2	1.2	-1.9	-1.9	-7.0	-13.2	-11.9	-7.9	-2.5	-1.8	-1.7	-1.0
1961	2.7	3.1	1.5	-1.5	-3.7	-9.4	-10.5	-9.1	-2.8	-3.6	1.1	2.4
1962	3.0	1.9	2.5	1.5	-3.7	-10.3	-12.5	-12.8	-4.8	-4.0	-3.0	0.6
1963	1.2	1.5	1.1	-3.8	-6.4	-11.9	-12.3	-10.9	-4.0	-2.6	-2.9	0.4
1964	-0.3	0.6	0.0	-2.9	-7.6	-10.6	-11.4	-8.5	-4.7	-3.2	-1.7	1.3
1965	4.2	4.3	2.2	-0.3	-7.7	-12.2	-10.6	-9.3	-4.3	-1.5	-1.2	1.5
1966	0.2	1.2	-1.1	-6.3	-7.2	-11.5	-12.5	-8.0	-4.6	1.1	-1.1	2.2
1967	0.4	1.5	2.6	-2.1	-5.0	-10.2	-10.7	-8.5	-3.9	-1.6	-2.5	1.3
1968	2.2	2.9	1.6	-1.0	-6.5	-10.0	-9.6	-7.7	-5.4	-0.9	0.2	0.2
1969	1.4	1.6	0.5	-2.6	-7.4	-11.3	-11.1	-13.4	-6.6	-3.8	-2.4	-0.7
1970	2.3	2.6	2.1	-0.1	-5.3	-7.8	-9.9	-8.2	-3.1	-2.8	-2.3	-2.4
1971	2.5	2.5	2.4	-2.7	-7.3	-8.3	-12.0	-8.9	-6.4	-4.5	-2.0	2.2
1972	2.4	1.9	2.5	-0.3	-7.1	-11.9	-10.1	-6.0	-4.4	-2.5	1.3	2.5
1973	4.1	3.7	3.2	1.7	-2.8	-7.5	-9.2	-6.5	-2.5	0.4	0.5	0.9
1974	3.1	3.8	1.2	0.6	-6.6	-8.9	-9.7	-6.7	-5.1	-1.8	-1.9	0.2
1975	1.2	2.7	2.0	-0.9	-3.5	-5.8	-10.3	-8.5	-2.6	-1.1	-0.8	2.4
1976	2.8	2.4	2.8	-1.0	-4.8	-9.1	-8.1	-6.9	-2.0	-4.8	-2.6	1.4
1977	2.5	2.9	3.7	-1.0	-5.4	-12.1	-8.1	-9.1	-2.0	-1.8	2.0	1.7
1978	3.7	3.4	1.8	0.9	-5.7	-8.0	-11.4	-7.5	-4.1	-2.0	1.6	3.4
1979	3.0	2.8	3.4	-0.5	-6.4	-8.3	-9.7	-8.3	-4.9	-0.9	-0.3	2.0
1980	3.1	3.0	3.5	-1.6	-7.2	-9.5	-7.2	-6.7	-3.4	1.9	0.2	0.7
1981	3.9	3.5	2.9	0.2	-5.4	-10.4	-9.7	-5.4	-3.4	0.1	2.0	2.2
1982	4.3	1.9	3.4	0.2	-8.2	-8.4	-9.8	-7.2	-2.9	0.2	2.7	1.9
1983	2.7	2.3	0.9	-0.3	-5.8	-7.8	-8.9	-5.9	-2.9	-1.5	-1.8	1.1
1984	3.5	4.3	4.4	1.4	-3.4	-5.8	-8.4	-5.0	-6.0	1.2	2.7	2.4
1985	3.5	3.7	2.9	2.3	-1.4	-4.7	-9.3	-6.4	-1.0	-2.0	1.9	2.6
1986	3.0	3.3	3.2	2.2	-6.1	-8.6	-10.0	-6.9	-1.9	-3.0	-0.4	3.0
1987	4.7	2.3	1.3	-1.1	-5.2	-8.2	-8.7	-7.1	-4.8	-2.0	2.7	2.5
1988	4.6	2.8	4.5	2.4	-2.6	-8.8	-9.9	-8.8	-3.2	-1.5	-1.0	2.4
1989	3.1	3.2	3.2	2.1	-3.0	-5.0	-7.3	-4.6	-1.8	1.1	0.9	2.2
1990	4.1	3.0	1.2	0.3	-5.5	-5.6	-8.9	-6.8	-4.3	-0.3	2.2	1.4
1991	2.1	1.5	5.0	2.2	-4.7	-8.0	-10.5	-8.6	-3.1	-1.9	1.4	0.8
1992	2.8	1.7	1.8	-0.5	-6.2	-6.9	-9.3	-5.5	-4.0	-0.6	0.5	2.6
1993	2.7	1.8	2.5	1.7	-3.7	-8.8	-7.4	-5.9	-2.3	0.0	2.4	3.5
1994	3.8	5.0	3.2	2.0	-3.0	-7.5	-7.7	-7.7	-1.9	-0.7	2.8	3.9
1995	4.4	2.2	2.8	-1.4	-7.3	-10.3	-10.3	-9.4	-4.8	-3.0	-0.9	-0.4
1996	1.8	2.4	1.3	0.6	-4.1	-10.1	-10.3	-7.0	-6.4	-3.4	-0.5	2.1
1997	3.2	2.7	1.7	-2.1	-5.3	-10.7	-9.6	-5.3	-2.6	0.0	1.8	1.7
1998	2.2	3.9	3.4	-0.3	-8.1	-7.1	-9.6	-6.1	-5.4	-0.1	-0.1	0.5
1999	2.2	2.8	2.7	0.5	-4.4	-10.4	-9.8	-7.4	-4.9	-1.0	-2.7	0.4
2000	2.6	2.2	1.7	-2.0	-6.2	-9.1	-9.5	-6.7	-6.0	-1.6	-3.3	0.5
2001	2.1	3.0	2.1	-0.8	-4.1	-7.2	-8.7	-8.1	-2.3	-1.3	-0.4	1.1
2002	2.4	4.3	3.0	1.3	-2.4	-6.3	-6.3	-5.8	-2.2	1.4	1.0	2.9
2003	3.5	3.8	3.8	0.7	-4.2	-10.2	-10.2	-7.2	-4.4	-4.0	-2.1	0.7
2004	2.8	2.3	1.2	-1.6	-8.7	-9.7	-10.0	-6.1	-2.6	-0.3	0.4	1.6
2005	2.2	3.6	2.4	0.5	-7.9	-12.1	-8.8	-9.0	-4.0	1.1	1.0	2.3
2006	2.8	2.4	3.3	0.3	-9.3	-8.7	-11.8	-6.3	-5.6	-1.1	0.5	1.1
2007	2.6	3.0	3.0	1.4	-4.0	-8.9	-9.1	-8.2	-1.4	-2.4	-1.9	-0.3
2008	2.3	2.8	0.8	-0.9	-10.3	-10.3	-10.7	-8.0	-6.0	-0.9	-2.7	0.9
2009	1.4	2.5	0.9	-2.0	-6.4	-12.4	-9.6	-9.1	-2.5	-1.6	2.6	2.4
2010	3.4	3.6	2.3	-0.2	-5.1							
TOTAL	138.6	139.3	114.4	-16.7	-286.3	-455.8	-488.9	-380.9	-188.7	-70.9	-7.8	73.2
MEDIA	2.7	2.7	2.2	-0.3	-5.6	-9.1	-9.8	-7.6	-3.8	-1.4	-0.2	1.5

FUENTE - SENAMHI-PUNO

SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA - SENAMHI - PUNO													
DEPARTAMENTO:		PU		PROVINCIA:		MELGAF		DISTRITO:		UMACHIRI		INFORMACION: T. MEDIA	
ESTACION:		CO. 12076 LAT: 14°47'05.2"				LONG: 70°42'56.5"				ALT. 3971			
CHUQUIBAMBILLA													
ANOS	ENER.	FEB.	MAR.	ABRL.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOT.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	
1960	9.0	8.6	7.4	6.8	3.9	0.8	2.0	4.8	8.2	8.4	8.2	8.8	
1961	10.7	10.1	9.8	7.7	6.1	3.5	3.0	4.2	8.0	8.4	10.1	10.0	
1962	9.5	9.5	9.3	7.0	6.4	2.1	1.3	1.3	6.8	7.5	8.3	8.0	
1963	8.6	8.6	9.2	6.2	4.6	1.6	2.0	3.6	6.4	8.2	8.5	9.4	
1964	8.8	8.7	7.9	6.3	3.5	2.0	1.0	3.2	5.2	7.0	7.5	8.6	
1965	9.5	9.6	8.6	7.8	4.4	1.5	1.5	3.0	5.8	7.0	7.0	8.8	
1966	8.5	8.2	7.2	4.8	3.6	2.0	2.2	4.9	6.8	9.2	8.2	9.6	
1967	9.2	8.7	8.9	7.5	6.0	3.2	1.9	3.6	6.5	7.6	8.2	8.5	
1968	8.8	9.1	8.4	7.2	4.6	3.0	2.7	4.1	5.9	8.4	8.3	8.6	
1969	8.8	8.8	8.7	7.6	5.2	2.4	2.4	1.8	5.4	7.6	8.6	8.6	
1970	9.1	9.4	9.0	8.2	6.0	4.4	3.0	4.4	6.4	7.4	8.2	8.8	
1971	8.8	8.2	8.8	6.3	3.9	3.2	1.6	3.6	5.8	6.6	7.5	8.6	
1972	8.2	8.0	8.9	7.5	4.1	1.7	2.8	4.4	6.0	8.0	9.9	9.4	
1973	9.6	9.7	9.8	8.8	6.5	4.0	2.8	4.5	6.5	9.0	8.8	8.4	
1974	8.5	8.9	7.9	7.4	4.5	2.6	2.8	3.1	5.5	7.8	7.8	8.3	
1975	7.4	8.1	8.1	7.2	5.6	4.2	2.5	4.4	7.2	7.6	8.3	8.8	
1976	8.4	8.5	8.9	7.2	5.0	2.8	3.6	4.2	6.5	7.1	8.0	9.4	
1977	9.8	9.2	9.5	7.6	4.8	1.5	3.8	4.1	7.1	7.7	9.1	8.8	
1978	9.1	9.8	8.7	8.3	4.8	3.6	1.9	4.3	6.3	7.8	8.7	9.6	
1979	8.6	9.5	9.5	7.6	4.7	3.9	2.7	4.5	6.8	8.5	8.9	9.0	
1980	9.8	9.8	9.4	7.3	4.3	3.4	4.2	5.2	6.9	9.3	9.2	8.8	
1981	9.6	9.1	9.3	7.6	5.1	2.3	3.1	4.5	6.1	8.5	9.9	9.5	
1982	9.7	9.2	9.9	7.8	3.8	3.2	3.0	4.6	6.4	8.5	9.3	9.7	
1983	10.4	10.1	9.9	8.7	5.9	4.1	3.8	5.8	7.4	8.2	8.9	9.4	
1984	8.5	9.3	9.5	8.2	6.1	4.0	3.4	5.4	5.5	8.6	9.0	8.8	
1985	9.3	9.1	9.0	8.5	6.5	4.3	2.4	4.8	7.4	7.5	8.3	8.7	
1986	8.8	8.7	8.9	8.5	3.9	3.5	1.9	4.2	7.1	7.7	9.2	9.9	
1987	9.8	9.7	9.0	8.0	5.6	3.6	3.4	5.4	6.8	8.2	10.4	10.6	
1988	10.2	9.9	10.1	8.9	6.7	3.5	3.1	4.8	7.5	8.4	9.3	9.6	
1989	9.1	9.4	9.2	8.6	6.4	5.4	4.1	5.3	8.4	9.8	9.8	10.8	
1990	10.4	9.9	9.6	8.9	5.2	3.5	2.7	4.3	6.3	8.0	9.2	8.4	
1991	8.5	8.8	10.7	9.8	5.6	3.3	2.2	3.8	6.2	7.4	9.0	9.1	
1992	9.1	8.7	9.2	8.6	6.1	4.4	3.0	4.2	6.5	8.2	8.7	9.5	
1993	8.7	8.9	8.4	8.4	5.8	3.1	4.2	5.2	7.7	9.0	10.2	10.5	
1994	10.1	10.7	9.5	9.3	6.9	4.4	4.9	5.3	8.0	9.2	11.0	10.9	
1995	11.3	10.1	9.3	7.6	4.8	2.3	2.8	4.2	6.2	7.8	8.4	7.9	
1996	8.5	8.7	8.5	8.0	5.5	2.3	1.9	3.6	4.7	6.7	7.4	8.7	
1997	8.8	8.2	7.6	5.9	5.0	2.3	2.8	4.1	6.9	8.9	9.2	9.7	
1998	9.5	11.0	10.3	8.9	4.8	4.3	3.6	5.6	6.2	8.6	8.2	8.6	
1999	8.7	8.3	8.2	7.1	5.0	2.1	2.2	4.1	5.5	7.1	7.2	8.5	
2000	8.1	7.6	7.9	6.8	4.9	2.8	2.1	4.2	5.3	6.3	7.3	7.5	
2001	7.5	8.1	7.7	6.9	5.3	3.7	2.8	3.2	7.2	8.0	9.0	9.0	
2002	9.2	8.9	8.7	7.7	6.0	7.9	6.0	7.0	5.4	8.7	8.7	9.4	
2003	9.6	9.6	9.4	7.9	5.5	2.2	2.2	3.7	5.8	6.8	8.1	8.7	
2004	8.4	8.4	8.2	6.6	3.1	2.1	1.8	4.2	6.6	8.8	9.5	9.2	
2005	9.1	9.4	9.2	8.6	4.2	1.8	3.7	3.8	6.8	9.1	8.9	9.3	
2006	8.3	8.8	9.8	7.9	3.3	6.4	3.4	4.9	5.9	8.1	8.4	8.7	
2007	9.0	9.3	8.4	8.8	5.8	4.0	2.6	4.2	7.4	7.6	7.3	7.6	
2008	7.6	10.0	8.1	8.1	2.1	2.0	2.7	4.8	6.1	8.0	6.9	7.2	
2009	7.7	8.4	8.0	6.6	4.4	1.4	2.4	4.5	7.4	8.8	10.0	9.3	
2010	9.1	9.6	9.0										
TOTAL	461.3	464.9	454.4	385.5	251.8	157.6	139.9	214.9	326.7	402.6	434.0	451.5	
MEDIA	9.0	9.1	8.9	7.7	5.0	3.2	2.8	4.3	6.5	8.1	8.7	9.0	

FUENTE - SENAMHI-PUNO

SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA - SENAMHI - PUNO

DEPARTAMENTO: PU PROVINCIA: MELGAF DISTRITO: UMA CHIRI INFORMACION: PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS

ESTACION: CO. 12076 LAT: 14°47'05.2" LONG: 70°42'56.5" ALT. 3971 CHUQUIBAMBILLA

ANOS	ENER.	FEB.	MAR.	ABRL.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOT.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
1961	19.7	20.5	29.8	36.5	9.3	0.0	0.0	0.0	14.5	11.0	25.2	25.8
1962	31.1	36.3	19.2	17.0	4.5	4.1	0.0	0.0	8.0	7.8	19.3	24.0
1963	23.6	24.4	20.5	33.2	7.5	0.0	0.4	0.0	10.2	8.0	15.0	19.0
1964	22.9	25.1	27.8	30.6	8.0	1.4	-0.1	0.0	13.1	10.4	24.9	26.3
1965	30.0	34.2	18.2	20.1	4.9	3.2	0.1	0.0	6.0	10.5	13.0	43.3
1966	14.5	15.0	15.0	8.0	14.7	0.0	0.0	0.0	17.5	12.1	12.3	16.2
1967	27.8	30.8	26.8	5.1	5.7	0.0	0.0	2.3	5.0	18.0	10.5	28.0
1968	14.0	39.5	30.0	25.0	2.5	0.0	11.0	7.5	17.0	12.0	30.0	18.5
1969	21.0	22.3	18.0	12.5	0.0	0.0	1.8	0.0	2.5	9.0	23.0	15.0
1970	74.2	20.5	14.5	15.5	8.0	0.5	0.0	0.0	16.6	13.2	21.1	29.3
1971	10.9	22.0	9.6	15.4	0.6	0.0	0.0	3.7	0.0	13.0	24.1	23.6
1972	24.8	17.5	19.0	12.2	2.3	0.0	2.3	2.1	0.9	3.0	16.1	27.1
1973	21.5	10.7	37.1	22.8	2.6	0.0	1.5	4.7	14.8	12.0	13.4	13.2
1974	20.2	26.6	57.6	11.1	0.0	4.2	0.0	11.8	13.3	8.7	24.1	19.8
1975	19.3	23.8	16.0	7.2	11.8	0.0	0.0	0.0	11.3	27.4	10.5	22.4
1976	24.7	17.2	18.8	10.0	5.8	1.5	0.8	2.8	19.6	0.9	8.2	11.5
1977	25.3	22.1	21.4	14.4	4.0	0.0	1.8	0.0	22.5	11.3	21.2	16.2
1978	36.7	18.0	15.7	43.7	0.9	0.6	0.0	0.0	8.5	7.0	26.0	26.5
1979	29.0	10.6	18.8	11.6	1.2	0.0	0.0	4.2	2.4	7.5	11.7	29.7
1980	22.5	16.3	26.9	5.7	9.1	0.0	1.3	2.2	2.3	19.8	26.1	23.6
1981	32.0	46.6	24.0	16.0	6.4	3.1	0.0	7.3	8.5	24.6	17.5	20.8
1982	24.6	23.3	19.0	26.0	0.0	2.0	0.0	0.0	10.8	20.5	25.3	22.7
1983	10.3	10.0	15.6	10.7	1.3	0.0	0.0	0.0	10.4	11.7	11.3	14.4
1984	20.0	22.5	16.2	15.4	13.3	T	1.2	0.7	1.9	25.6	20.7	41.6
1985	16.5	19.5	19.3	18.1	9.3	11.3	0.0	0.5	25.5	5.4	22.0	13.7
1986	19.5	18.6	11.6	13.2	12.2	0.0	1.0	4.1	11.4	2.7	18.7	18.4
1987	15.6	22.0	17.5	14.1	0.8	1.4	3.8	0.7	3.2	2.8	30.5	15.1
1988	31.3	15.2	21.9	21.0	5.5	0.0	0.0	0.0	6.5	15.2	3.7	21.2
1989	27.0	12.7	23.2	14.1	3.3	0.7	0.7	17.5	11.8	13.1	10.0	24.0
1990	15.2	12.4	21.6	14.4	7.0	23.5	0.0	0.2	6.0	27.4	13.0	14.4
1991	42.2	18.0	26.5	15.2	13.0	19.1	0.0	0.0	1.0	17.8	8.7	31.0
1992	14.8	12.7	20.6	13.6	0.0	2.4	0.0	28.0	0.0	13.6	23.0	35.7
1993	38.3	14.9	28.2	12.1	0.0	16.0	0.0	11.7	2.5	34.0	33.5	19.2
1994	25.2	26.2	26.2	14.6	0.0	0.0	0.0	2.8	4.8	12.7	29.5	35.0
1995	17.2	24.4	23.4	10.8	2.1	0.0	0.0	0.0	2.0	12.0	15.0	22.2
1996	20.8	24.2	15.5	12.2	1.4	0.0	3.4	3.5	3.4	5.0	11.3	13.5
1997	36.2	25.2	31.8	17.1	4.0	0.0	0.0	14.0	14.3	8.5	18.9	33.0
1998	16.6	17.4	28.0	20.3	0.0	2.0	0.0	2.0	7.5	18.0	27.8	27.8
1999	24.2	23.0	12.5	26.5	6.9	0.0	1.4	1.2	8.3	23.0	7.7	21.5
2000	18.3	21.2	21.5	3.7	7.7	3.3	6.2	1.8	5.9	17.2	10.6	22.3
2001	52.7	12.8	23.2	8.2	9.0	1.2	2.2	4.3	6.3	11.5	8.8	21.3
2002	22.9	25.3	20.0	19.5	9.3	2.0	5.3	4.7	7.0	14.4	22.3	11.1
2003	23.3	29.6	47.8	17.5	2.3	3.3	0.0	9.2	14.2	14.7	14.6	13.8
2004	22.7	41.6	18.3	10.8	1.1	2.0	2.2	13.2	18.0	4.0	19.4	32.5
2005	17.2	28.8	34.1	11.0	0.0	0.0	0.6	6.7	0.0	24.3	20.3	15.0
2006	35.1	30.9	19.8	8.7	0.0	3.2	0.0	3.0	2.4	12.7	22.0	38.8
2007	27.9	19.5	27.4	23.4	3.5	0.0	2.6	0.0	7.4	8.7	16.8	24.9
2008	16.3	31.8	8.6	2.9	2.9	1.0	0.0	1.5	0.0	13.7	14.0	36.2
2009	24.3	14.6	25.0	26.6	0.0	0.0	0.0	0.0	4.4	10.5	11.6	20.8
2010	36.0	15.3	59.2									
TOTAL	1257.8	1113.6	1168.2	795.3	225.7	113.0	51.6	179.9	411.4	647.9	884.2	1140.9
MEDIA	25.2	22.3	23.4	16.2	4.6	2.4	1.1	3.7	8.4	13.2	18.0	23.3
P. max	74.2	46.6	59.2	43.7	14.7	23.5	11.0	28.0	25.5	34.0	33.5	43.3

FUENTE -SENAMHI-PUNO

SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA - SENAMHI - PUNO												
DEPARTAMENTO: PU			PROVINCIA: MELGA			DISTRITO: UMACHIRI			INFORMACION: HUMEDAD RELATIVA EN %			
ESTACION: CO. 12076			LAT: 14°47'05.2"			LONG: 70°42'56.5"			ALT. 3971			
CHUQUIBAMBILLA												
ANOS	ENER.	FEB.	MAR.	ABRL.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOT.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
1961	56	57	56	51	57	62	56	53	55	43	58	63
1962	65	68	67	63	53	45	44	49	55	43	45	69
1963	70	73	65	60	56	48	56	52	61	59	53	61
1964	64	70	70	64	60	52	55	55	50	42	46	53
1965	60	61	58	59	51	46	40	44	41	52	56	67
1966	63	71	67	57	61	55	52	52	52	58	57	61
1967	56	65	67	54	53	48	49	49	50	51	43	57
1968	63	67	64	56	54	50	50	40	35	40	47	46
1969	51	51	47	42	36	37	34	32	39	36	40	42
1970	53	52	54	47	37	38	37	35	39	37	34	51
1971	52	57	51	46	39	43	37	37	33	33	37	48
1972	60	57	57	53	45	40	39	37	37	41	37	48
1973	55	55	55	54	47	40	42	40	43	39	43	46
1974	57	59	51	49	42	38	41	46	36	37	38	46
1975	47	57	54	47	37	47	39	43	27	27	28	37
1976	41	39	39	34	32	56	37	40	52	28	33	50
1977	55	66	70	50	57	34	41	33	40	48	55	50
1978	71	69	68	73	55	30	44	43	40	38	56	62
1979	71	69	72	66	50	45	41	30	34	39	42	53
1980	52	62	71	58	50	40	43	36	38	48	41	45
1981	58	61	56	53	43	37	40	45	40	47	49	59
1982	69	64	68	60	44	40	36	44	69	59	67	53
1983	55	58	52	53	43	59	44	49	44	38	35	53
1984	71	76	70	62	64	63	63	60	49	63	65	60
1985	65	72	72	69	77	56	56	53	58	50	60	64
1986	68	65	71	71	62	65	72	53	59	45	46	55
1987	68	62	64	58	54	44	63	46	47	51	54	51
1988	69	70	73	73	58	64	64	43	47	44	41	56
1989	69	66	64	59	56	52	45	57	40	41	42	41
1990	58	53	47	54	43	56	46	54	66	79	84	75
1991	77	82	82	78	76	74	59	44	57	55	82	55
1992	63	64	56	47	38	50	36	59	59	73	79	79
1993	66	73	80	81	68	65	55	47	36	53	60	63
1994	70	69	72	57	57	52	46	44	41	54	69	74
1995	70	69	72	57	57	58	59	60	66	51	53	59
1996	63	68	63	65	58	44	50	54	51	45	54	60
1997	67	69	73	63	57	32	53	44	46	49	55	53
1998	61	60	59	57	45	52	44	40	41	50	63	65
1999	73	78	80	78	69	45	44	40	52	58	46	60
2000	70	75	72	59	52	53	48	53	57	69	52	67
2001	75	62	78	69	66	64	62	67	72	88	90	70
2002	75	76	77	75	67	60	64	60	57	64	65	72
2003	74	73	76	71	63	65	63	63	58	51	60	68
2004	76	71	72	72	59	64	60	59	61	53	56	65
2005	67	73	71	64	55	58	52	56	51	56	56	63
2006	72	72	67	64	52	55	51	49	47	52	61	64
2007	70	68	72	65	59	53	59	53	57	53	47	58
2008	67	60	65	56	55	55	57	50	48	54	50	63
2009	66	69	73	70	66	60	57	53	56	51	54	61
2010	70	67	70									
TOTAL	3204	3270	3270	2943	2635	2489	2425	2345	2389	2435	2584	2841
MEDIA	64	65	65	60	54	51	49	48	49	50	53	58

FUENTE - SENAMHI-PUNO

SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA - SENAMHI - PUNO												
DEPARTAMENTO:		PU		PROVINCIA:		MELGAF		DISTRITO:		UMACHIRI		INFORMACION:
												TOTAL
ESTACION:		CO. 12076				LAT: 14°47'05.2"			LONG: 70°42'56.5"			ALT. 3971
CHUQUIBAMBILLA												
ANOS	ENER.	FEB.	MAR.	ABRL.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOT.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
1960	197.1	185.2	217.8	227.0	228.2	213.5	205.1	206.2	194.3	203.2	215.5	208.9
1961	197.2	185.2	217.8	227.1	228.2	213.6	205.1	206.2	194.3	203.2	215.5	208.9
1962	197.2	185.3	217.9	227.1	228.3	213.7	205.1	206.2	194.3	203.2	215.5	208.9
1963	101.8	64.4	98.0	101.4	128.3	146.6	158.1	189.3	125.4	173.6	176.2	147.5
1964	208.5	199.6	232.0	242.0	240.0	221.3	210.8	208.2	202.6	206.8	220.3	216.3
1965	204.0	193.9	226.4	236.1	235.3	218.2	208.5	207.4	199.4	154.5	145.0	99.0
1966	200.4	189.4	222.0	231.4	231.6	215.8	206.8	206.8	196.7	210.4	225.8	224.9
1967	197.6	185.7	218.4	227.6	228.6	213.8	205.3	206.3	194.6	207.1	221.1	217.6
1968	194.0	181.5	213.8	223.2	224.6	210.4	204.1	205.8	192.8	204.4	217.3	211.6
1969	193.1	180.0	212.7	221.6	224.0	210.8	203.0	205.5	191.3	202.1	214.1	206.7
1970	191.0	58.6	52.7	100.5	130.5	100.1	206.2	234.2	152.1	179.0	143.2	59.4
1971	90.4	72.6	220.5	74.0	119.1	99.3	116.2	133.0	153.0	149.0	108.3	101.3
1972	100.4	106.7	114.6	107.5	120.7	104.5	113.3	128.6	126.6	164.4	188.1	119.2
1973	202.0	189.8	217.4	239.7	238.5	231.3	216.2	218.2	196.3	202.6	216.2	212.5
1974	190.2	109.3	112.9	88.8	101.0	107.2	117.0	101.4	150.8	150.7	111.3	97.3
1975	167.4	134.6	77.0	106.1	90.6	101.0	114.0	131.0	152.2	175.7	156.8	121.3
1976	117.3	117.3	119.8	117.9	107.4	99.0	115.3	146.3	150.3	209.9	201.0	168.4
1977	138.4	112.3	105.6	126.0	131.6	108.5	131.0	168.0	148.5	168.1	134.0	137.6
1978	114.7	117.7	126.5	99.0	117.4	103.6	117.5	162.0	153.2	179.9	121.0	138.3
1979	105.2	131.2	94.3	109.1	106.4	110.0	118.4	121.4	169.2	180.1	170.1	137.9
1980	140.3	132.2	97.4	117.8	115.2	113.2	119.1	152.7	167.6	140.3	173.7	175.3
1981	122.1	105.4	139.2	110.1	119.0	117.2	134.0	141.9	158.6	170.3	159.0	137.7
1982	115.5	115.8	116.1	104.7	117.1	103.9	131.6	135.2	142.4	149.4	131.3	165.4
1983	150.6	146.7	170.2	131.1	144.1	126.6	113.7	92.6	169.9	197.4	216.4	177.4
1984	105.1	94.2	98.5	107.9	118.9	111.5	121.2	144.2	186.4	159.7	130.9	145.7
1985	122.6	112.8	118.7	103.8	98.8	92.7	161.5	145.9	142.6	181.1	117.9	126.7
1986	118.3	91.5	99.6	101.2	110.9	121.3	116.0	134.6	152.1	205.0	192.1	147.9
1987	110.6	129.3	150.2	131.8	134.8	127.7	128.6	164.7	183.6	196.8	159.3	175.3
1988	114.2	142.9	116.2	117.1	110.5	112.9	131.8	144.2	180.2	196.1	218.3	162.0
1989	123.5	117.0	114.0	110.7	111.8	107.5	118.9	127.5	155.6	148.0	164.3	185.2
1990	132.5	115.5	121.2	152.1	134.5	94.5	127.6	150.5	216.3	142.4	142.4	142.1
1991	141.5	114.0	128.4	113.5	102.2	135.0	107.0	149.8	177.9	178.6	161.7	177.5
1992	164.4	146.7	179.0	158.4	139.9	111.9	143.3	126.4	160.7	166.2	183.0	160.9
1993	81.4	125.8	144.3	115.3	87.6	104.0	139.4	140.0	162.0	137.1	156.6	131.4
1994	119.7	111.1	130.6	117.7	74.4	97.3	100.2	137.6	139.2	149.0	152.7	158.8
1995	140.8	145.9	121.7	111.8	118.7	88.9	122.3	123.8	166.1	195.7	184.3	148.7
1996	124.2	116.2	133.2	106.5	96.6	111.7	101.4	107.5	109.4	137.6	144.8	139.4
1997	141.7	124.8	135.9	112.2	115.5	98.1	113.2	134.1	133.5	150.6	139.4	140.7
1998	130.5	127.5	146.1	123.5	136.8	132.3	125.1	126.1	122.6	142.8	128.3	151.8
1999	149.0	116.5	125.7	108.1	116.9	125.6	136.6	135.8	125.5	141.9	172.8	154.1
2000	128.4	125.2	125.9	120.2	131.6	133.9	133.1	141.2	153.5	144.6	169.4	147.2
2001	117.5	112.6	122.2	133.1	110.3	128.1	125.5	138.0	128.3	144.8	126.8	127.0
2002	119.5	104.8	122.4	119.6	137.0	123.8	114.1	127.2	125.7	132.7	127.5	125.3
2003	119.2	111.9	120.7	129.0	141.5	135.3	130.2	134.0	131.4	144.3	135.6	133.7
2004	106.9	110.9	122.4	118.8	129.1	121.9	130.1	127.6	123.0	138.7	139.8	139.6
2005	142.2	120.9	141.5	135.7	133.2	132.1	136.9	140.5	136.1	133.0	127.2	137.7
2006	123.6	121.6	119.1	114.6	126.3	103.6	116.9	106.1	111.0	119.6	112.5	115.9
2007	120.3	105.2	111.8	117.7	124.5	122.4	126.8	134.1	120.1	126.0	122.2	121.1
2008	119.1	114.3	117.8	148.5	142.2	126.0	137.0	143.2	132.7	131.0	126.7	113.2
2009	123.9	109.0	126.9	128.1	145.4	131.8	133.9	129.4	134.3	137.7	124.2	124.2
2010	121.0	112.4	126.5									
TOTAL	10,152	9,355	10,524	10,356	10,504	9,932	10,231	10,721	10,801	11,414	11,390	10,766
MEDIA	154	142	159	159	162	153	157	165	166	176	175	166
FUENTE - SENAMHI-PUNO												

SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA - SENAMHI - PUNO												
DEPARTAMENTO:		PU		PROVINCIA:		MELGAF		DISTRITO:		UMACHIRI		INFORMACION: VELOCIDAD DE VIENTO EN M/SEG.
ESTACION:		CO. 12076		LAT: 14°47'05.2"			LONG: 70°42'56.5"			ALT. 3971		
CHUQUIBAMBILLA												
ANOS	ENER.	FEB.	MAR.	ABRL.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOT.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
1960	2.3	2.1	2.0	1.8	1.6	1.5	2.0	2.2	2.2	2.1	2.3	2.2
1961	2.1	2.2	1.9	1.6	1.6	1.7	1.6	1.9	2.5	2.3	2.2	2.0
1962	1.9	1.9	2.0	1.8	1.3	1.6	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.0
1963	2.0	1.8	1.8	1.5	1.4	1.4	1.3	1.6	2.1	2.1	2.2	2.1
1964	1.9	1.8	1.8	1.5	1.3	1.2	1.7	2.2	2.2	2.6	2.3	2.1
1965	2.0	1.9	1.9	1.4	1.4	1.1	1.9	2.1	2.2	2.1	2.1	1.7
1966	2.1	1.9	1.9	1.8	1.9	1.8	1.4	1.9	2.2	2.2	2.2	2.0
1967	1.9	2.1	1.9	1.7	1.6	1.8	2.2	2.0	2.3	2.0	2.3	2.3
1968	1.8	2.0	2.1	1.7	1.5	1.5	1.6	1.8	2.0	2.1	2.3	2.4
1969	2.4	2.3	2.0	1.8	1.6	1.9	1.6	1.9	2.1	2.2	2.1	2.0
1970	1.8	1.8	1.6	1.4	1.4	1.2	1.7	1.5	2.0	1.9	2.1	2.1
1971	1.9	1.9	1.7	2.1	1.6	2.2	1.3	1.7	2.2	3.5	2.2	2.1
1972	2.9	2.7	3.2	3.7	3.4	4.1	3.7	4.0	3.8	2.8	4.0	2.4
1973	3.9	2.1	2.0	1.9	1.5	2.5	3.2	2.6	2.4	2.9	3.0	3.3
1974	3.5	3.5	4.2	4.9	4.7	5.4	3.8	4.4	5.0	3.4	4.9	3.9
1975	4.4	3.9	2.2	2.0	2.4	2.4	2.3	2.1	1.8	1.5	1.6	0.8
1976	1.0	1.1	0.9	0.8	0.6	0.9	1.5	1.3	1.7	0.9	1.1	1.0
1977	1.1	1.4	1.1	1.0	1.2	1.0	1.5	1.9	2.3	1.8	1.9	1.2
1978	1.3	1.8	1.3	1.3	1.8	1.2	1.5	2.5	1.8	2.3	1.9	2.1
1979	2.5	2.7	1.7	1.8	1.9	1.9	1.7	2.2	2.3	2.2	2.3	2.0
1980	1.7	1.6	1.8	1.1	1.6	1.2	2.3	1.7	2.9	2.0	1.6	1.7
1981	2.0	2.5	1.8	1.3	1.2	2.1	1.8	2.8	2.7	2.5	2.2	1.9
1982	1.9	1.2	1.4	1.3	1.3	1.9	1.6	1.7	2.1	2.0	2.0	1.8
1983	1.8	1.8	1.9	2.2	1.7	2.5	1.9	1.8	2.0	1.8	2.3	2.4
1984	2.1	1.8	1.6	1.2	1.5	1.8	1.9	3.1	2.2	2.5	2.1	1.7
1985	1.6	1.0	1.4	1.6	1.4	1.4	1.5	1.4	1.6	1.7	1.4	1.3
1986	1.2	1.3	1.1	1.1	1.1	1.2	1.6	1.4	2.3	2.2	2.2	1.7
1987	1.4	1.3	1.3	1.6	1.9	1.8	2.3	1.6	1.9	2.1	1.8	1.8
1988	1.2	1.6	1.4	1.0	1.2	1.3	1.8	2.4	2.7	2.4	2.4	2.9
1989	2.0	1.6	1.4	1.1	1.3	1.4	1.3	2.2	2.5	2.0	1.4	1.3
1990	1.5	1.9	3.8	2.4	1.6	1.9	1.9	2.4	2.6	2.1	2.0	1.8
1991	1.6	1.8	2.1	1.4	1.4	1.7	1.7	1.4	1.7	2.1	1.8	2.3
1992	1.9	1.6	1.6	1.9	2.2	1.4	1.8	2.3	2.6	2.2	1.8	1.5
1993	1.7	1.9	1.3	1.7	1.8	1.3	2.1	1.8	2.3	1.7	1.7	2.2
1994	1.4	1.3	1.7	1.6	1.9	1.2	1.3	1.7	2.2	1.5	1.6	2.8
1995	2.0	2.4	1.8	1.9	1.8	1.9	2.1	2.7	2.7	2.8	2.6	2.4
1996	3.0	2.2	2.5	2.2	2.0	2.5	1.9	2.3	2.4	2.2	2.5	2.9
1997	3.2	2.8	2.3	1.9	2.1	2.1	2.5	2.5	2.6	2.2	2.8	2.3
1998	2.3	2.1	2.3	2.6	2.2	2.6	2.4	2.7	2.5	2.6	2.9	2.4
1999	2.3	2.4	2.8	2.3	1.9	2.6	3.1	2.5	2.6	2.8	2.8	2.8
2000	2.6	2.4	2.3	2.3	2.2	2.3	2.3	2.6	3.0	2.8	2.3	2.8
2001	2.3	2.3	2.2	2.0	2.1	2.2	2.2	2.0	2.3	2.0	2.1	2.6
2002	1.9	2.1	1.8	1.4	1.7	1.4	2.3	1.1	1.9	1.8	1.8	2.1
2003	2.0	2.1	2.2	1.9	1.5	1.4	1.7	1.7	2.3	2.6	2.4	2.2
2004	2.4	1.8	1.7	1.7	1.8	2.1	2.0	2.0	1.9	2.5	2.1	2.3
2005	2.2	1.7	1.9	1.6	1.7	1.8	2.8	1.6	4.5	4.2	4.2	4.5
2006	2.8	2.2	2.1	1.5	1.4	1.5	1.8	2.2	2.3	2.9	2.2	2.2
2007	2.2	1.4	1.8	1.3	1.6	1.2	2.1	1.9	2.5	2.3	2.2	1.7
2008	1.8	2.4	1.5	1.7	1.8	2.1	2.7	2.1	3.8	2.9	2.8	2.4
2009	2.4	3.0	2.4	3.0	2.0	2.0	2.4	1.6	2.5	2.1	2.2	1.8
2010	2.5	2.2	2.0	1.7	2.7							
TOTAL	107.6	102.6	98.4	91.0	89.3	92.1	100.4	104.9	121.2	114.5	113.4	108.2
MEDIA	2.1	2.0	1.9	1.8	1.8	1.8	2.0	2.1	2.4	2.3	2.3	2.2

FUENTE -SENAMHI-PUNO