

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**DETERMINACIÓN DEL MÉTODO MÁS EFICIENTE PARA
CALCULAR LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL PARA UN
MODELO LLUVIA - ESCORRENTÍA EN LA CUENCA HUANCANÉ
– PUNO**

TESIS

PRESENTADA POR:

PEDRO HUACCOTO GARCIA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGRÍCOLA

PUNO – PERÚ

2017

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

DETERMINACIÓN DEL MÉTODO MÁS EFICIENTE PARA CALCULAR LA
EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL PARA UN MODELO LLUVIA-
ESCORRENTÍA EN LA CUENCA HUANCANÉ – PUNO

TESIS PRESENTADA POR:
PEDRO HUACCOTO GARCIA

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO AGRÍCOLA



APROBADA POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

PRESIDENTE

M.Sc. AUDBERTO MILLONES CHAFLOQUE

PRIMER MIEMBRO

M.Sc. ROBERTO ALFARO ALEJO

SEGUNDO MIEMBRO

M.Sc. ALCIDES HÉCTOR CALDERÓN MONTALICO

DIRECTOR / ASESOR

M.Sc. OSCAR RAÚL MAMANI LUQUE

ÁREA : Ingeniería y Tecnología
TEMA : Modelamiento Hidrológico
LÍNEA : Recursos Hídricos

FECHA DE SUSTENTACIÓN 24 DE OCTUBRE DEL 2017

DEDICATORIA

A Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad Nacional del Altiplano y a la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola, por haberme formado profesionalmente.

A los Docentes de la Facultad de Ingeniería Agrícola, por sus valiosas enseñanzas impartidas y el tiempo dedicado para el logro de mi profesión.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS.....	8
ÍNDICE DE TABLAS.....	10
ÍNDICE DE ANEXOS.....	11
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS.....	12
I. INTRODUCCIÓN.....	16
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	17
1.1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	19
2.1 ANTECEDENTES.....	19
2.1.1 ANTECEDENTE INTERNACIONAL	19
2.1.2 ANTECEDENTE NACIONAL	22
2.2 MODELO LLUVIA - ESCORRENTÍA.....	22
2.3 MODELO GR2M.....	23
2.3.1 VALIDACIÓN Y EVALUACIÓN DE MODELOS	26
2.3.1.1 Eficiencia de Nash y Sutcliffe (NSE).....	26
2.3.1.2 Coeficiente de determinación (R^2).....	27
2.3.1.3 Coeficiente de correlación (R).....	28
2.3.2 ANÁLISIS DE CONSISTENCIA DE LA INFORMACIÓN HIDROLÓGICA	29
2.3.2.1 Software Hydraccess.....	30
2.4 EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL.....	31
2.4.1 ELEMENTOS METEOROLÓGICOS QUE DETERMINAN LA ETP	32
2.4.1.1 Precipitación.....	32
2.4.1.2 Temperatura.....	32
2.4.1.3 Humedad relativa.....	32
2.4.1.4 Velocidad del viento.....	33
2.4.1.5 Radiación solar.....	33
2.4.1.6 Evaporación.....	34
2.4.2 MÉTODOS PARA CALCULAR LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL	34
2.4.2.1 Métodos directos.....	34
2.4.2.1.1 Método de tanque de evaporación clase "A".....	34
2.4.2.2 Métodos indirectos:.....	37
2.4.2.2.1 Método Penman - Monteith.....	37

2.4.2.2.2 Método Thornthwaite y Wilm.....	52
2.4.2.2.3 Método de Hargreaves.....	54
2.4.2.2.4 Método de Oudin	56
2.4.2.2.5 Método Blaney y Criddle	56
2.4.2.2.6 Método de Turc.....	58
2.4.2.2.7 Jensen y Haise (1963)	59
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	61
3.1 DESCRIPCION DE AMBITO DE ESTUDIO	61
3.1.1 UBICACIÓN DEL ÁMBITO DE ESTUDIO	61
3.1.1.1 Ubicación geográfica	61
3.1.1.2 Ubicación hidrográfica	61
3.1.1.3 Ubicación política	61
3.1.1.4 Ubicación administrativa.....	62
3.1.1.5 Vías de comunicación y acceso.....	62
3.1.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DE CUENCA	63
3.1.3 DESCRIPCIÓN CLIMÁTICA DE LA CUENCA DE HUANCANÉ	63
3.1.3.1 Precipitación.....	63
3.1.3.2 Temperatura.....	63
3.1.3.3 Humedad relativa	64
3.1.3.4 Velocidad del viento	64
3.1.3.5 Horas sol	64
3.1.3.6 Evaporación	64
3.2 MATERIALES.....	65
3.2.1 INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA	65
3.2.2 INFORMACIÓN METEOROLÓGICA	65
3.2.3 EQUIPOS Y MATERIALES PARA EL PROCESAMIENTO	65
3.3 METODOLOGIA.....	67
3.3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN	67
3.3.2 VARIABLES	67
3.3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA	68
3.3.3.1 Población	68
3.3.3.2 Muestra	68
3.3.3.3 Técnicas.....	68
3.3.4 ANÁLISIS DE LOS DATOS DE INFORMACIÓN CLIMÁTICA	68
3.3.4.1 Estimación de datos faltantes.....	69
3.3.4.2 Método del vector regional	69

3.3.4.3 Análisis de consistencia.....	71
3.3.4.4 Extensión del registro	72
3.3.5 MÉTODOS DE INTERPOLACIÓN PARA DETERMINAR VALORES MEDIOS DE LA CUENCA 73	
3.3.5.1 Media aritmética	73
3.3.5.2 Polígonos de Thiessen	74
3.3.5.3 IDW (la inversa del cuadrado de la distancia).....	74
3.3.5.4 Kriging.	74
3.3.6 CALIBRACIÓN DEL MODELO HIDROLÓGICO GR2M	75
3.3.7 VALIDACIÓN DEL MODELO HIDROLÓGICO GR2M	75
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	77
4.1 DELIMITACIÓN HIDROGRÁFICA DE LA CUENCA.....	77
4.2 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN METEOROLÓGICA.....	77
4.2.1 ANÁLISIS DE DATOS ATÍPICOS ESTACIONES	78
4.2.2 DETERMINACIÓN DE VALORES MEDIOS DE LA CUENCA	86
4.3 ESTIMACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL.....	87
4.4 SIMULACION DE CAUDALES.....	89
4.4.1 SIMULACIÓN CON DE TANQUE EVAPORACIÓN CLASE “A”	89
4.4.2 SIMULACIÓN CON MÉTODO PENMAN - MONTEITH	93
4.4.3 SIMULACIÓN CON MÉTODO THORNTHWAITE Y WILM	94
4.4.4 SIMULACIÓN CON MÉTODO DE HARGREAVES.	95
a) Por Temperatura	95
b) Por Radiación.....	96
4.4.5 SIMULACIÓN CON MÉTODO DE OUDIN	98
4.4.6 SIMULACIÓN CON MÉTODO BLANEY Y CRIDDLE	99
4.4.7 SIMULACIÓN CON MÉTODO DE TURC (TURC, 1961)	100
4.4.8 SIMULACIÓN CON JENSEN Y HAISE (1963)	101
4.4.9 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA EFICIENCIA DE MÉTODOS DE ETP	103
4.4.10 DETERMINACIÓN DEL MÉTODO EFICIENTE PARA LA ETP	103
CONCLUSIONES	105
RECOMENDACIONES	107
REFERENCIAS	108
ANEXOS.....	111

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema conceptual y ecuaciones del modelo GR2M.....	23
Figura 2. Casos de localización del tanque de evaporación.	35
Figura 3. Componentes de la radiación.....	40
Figura 4. Factores de conversión para convertir la velocidad del viento.	48
Figura 5. Cuenca Huancané Delimitado.....	77
Figura 6. Análisis anual de datos mensuales de estación Cojata.	78
Figura 7. Análisis anual de datos mensuales de estación Huancané.	79
Figura 8. Análisis anual de datos mensuales de estación Huaraya Moho	79
Figura 9. Análisis anual de datos mensuales de estación Muñani.....	80
Figura 10. Análisis anual de datos mensuales de estación Putina.	80
Figura 11. Análisis de datos mensuales de precipitación sin corregir.....	81
Figura 12. Análisis de datos mensuales precipitación.	81
Figura 13. Suma de los índices anuales del Vector y de las Estaciones	82
Figura 14. Análisis de datos mensuales de temperatura media.	83
Figura 15. Análisis de datos de temperatura máxima.....	83
Figura 16. Análisis mensuales de datos de humedad relativa.....	84
Figura 17. Análisis mensuales de datos de evaporación.....	84
Figura 18. Análisis de datos mensuales de horas sol.....	85
Figura 19. Vector y de la Estación: Puente Huancané (m ³ /seg.)	85
Figura 20. Estación: Puente (Huancané) Caudales Anuales.....	86
Figura 21. Determinación de valores medios de la cuenca con software HYDRACCES	87
Figura 22. Resultados de Métodos de evapotranspiración potencial.....	88
Figura 23. Valor de los parámetros sin calibrar el modelo.....	89
Figura 24. Valor de los parámetros, calibrando el modelo.....	90
Figura 25. Hidrograma de lluvia, caudales observados y simulados.	90
Figura 26. Evolución del nivel "S" del reservorio de producción.	91
Figura 27. Evolución del nivel "R" del reservorio de transferencia.	92
Figura 28. Línea de tendencia y coeficiente R ²	92
Figura 29. Valor de los parámetros, calibrando el modelo.....	93
Figura 30. Línea de tendencia y coeficiente R ²	94
Figura 31. Valor de los parámetros, calibrando el modelo.....	94
Figura 32. Línea de tendencia y coeficiente R ²	95

Figura 33. Valor de los parámetros, calibrando el modelo.....	96
Figura 34. Línea de tendencia y coeficiente R^2	96
Figura 35. Valor de los parámetros, calibrando el modelo.....	97
Figura 36. Línea de tendencia y coeficiente R^2	97
Figura 37. Valor de los parámetros, calibrando el modelo.....	98
Figura 38. Línea de tendencia y coeficiente R^2	98
Figura 39. Valor de los parámetros, calibrando el modelo.....	99
Figura 40. Línea de tendencia y coeficiente R^2	100
Figura 41. Valor de los parámetros, calibrando el modelo.....	100
Figura 42. Línea de tendencia y coeficiente R^2	101
Figura 43. Valor de los parámetros, calibrando el modelo.....	102
Figura 44. Línea de tendencia y coeficiente R^2	102

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores referenciales del Criterio de Nash-Sutcliffe	27
Tabla 2. Coeficientes k_p para el tanque clase A.	37
Tabla 3. Vías de acceso.	62
Tabla 4. Periodos de calibración y validación.	76
Tabla 5. Periodos de calibración y validación.	76
Tabla 6. Correlación / vector de las estaciones climáticas.	82
Tabla 7. Resultados de evapotranspiración potencial mensual para la cuenca Huancané.	88
Tabla 8. Comparación de resultados.	103

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1 TABLAS “A.1” PARA METODOS DE EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL	112
ANEXO 2 TABLAS “B.1” DATOS DE PRECIPITACIÓN.	117
ANEXO 3 TABLAS “B.2” DATOS DE TEMPERATURA MEDIA.	124
ANEXO 4 TABLAS “B.3” DATOS DE CAUDALES.	130
ANEXO 5 “C.1” MAPAS	130

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

A	Área de la cuenca (km ²)
S	Almacenamiento en el tanque de producción
H	Altura de la cuenca
Q	Caudal superficial, Gasto
r	Coefficiente de correlación de Pearson
X, Y	Coefficientes de correlación de Pearson
(ΣX) ²	Cuadrados de la suma de valores de X
(ΣY) ²	Cuadrados de la suma de valores de Y
N	Duración máxima de horas sol
ET	Evapotranspiración real
ETP	Evapotranspiración potencial
E	Evaporación real
ET _o	Evaporación de referencia.
NSE	Eficiencia de Nash-Sutcliffe
Z	Elevación sobre el nivel del mar (m)
K _c	Factor de cultivo.
F	Flujo de agua subterránea
HR	Humedad relativa
L	Longitud del cauce principal (Km)
P	Precipitación
R _s	Radiación solar
R _n	Radiación neta
R _{ns}	Radiación de onda corta entrante
R _{nl}	Radiación de onda larga saliente

S	Pendiente del cauce principal (m/m)
ΣX	Sumatoria de valores de la variable X
ΣY	Sumatoria de valores de la variable Y
ΣXY	Sumatoria de valores X e Y
ΣX^2	Suma de los cuadrados X
ΣY^2	Suma de los cuadrados Y
P1	Tránsito de escorrentía
P2	Tránsito de escorrentía
n	Numero de observaciones
R ²	Coefficiente de determinación
X _i	Valor observado

RESUMEN

La investigación se realizó en la cuenca Huancané. El objetivo del presente trabajo es la determinación del método más eficiente para calcular la evapotranspiración potencial para un Modelo Lluvia - Escorrentía en la Cuenca Huancané – región Puno. Los datos usados fueron son mensuales de siete estaciones meteorológicas de periodos 1964 a 2016 registrados por la institución SENAMHI, para determinar el método más eficiente se plantearon nueve métodos de evapotranspiración potencial (tanque tipo “A”, Penman Monteith, Thornthwaite y Wilm, Hargreaves en base a Temperatura y Radiación, Oudin, Blaney y Criddle, Turc y Jensen - Haise), con diferentes variables de entrada: temperatura media, temperatura mínima, temperatura máxima, velocidad del viento, humedad relativa, evaporación y horas de sol, Para Los cuales se realizó un modelamiento hidrológico con los nueve métodos de ETP. Con el modelo hidrológico GR2M que tiene como datos de entrada precipitación, evapotranspiración potencial y caudal. Los caudales observados se compararon con caudales simulados en la estación Puente Huancané. Para determinar el desempeño de los métodos empíricos de evapotranspiración potencial se utilizó indicadores estadísticos como: el coeficiente de determinación (R^2), coeficiente de correlación (r) y eficiencia de Nash y Sutcliffe (NSE). Finalmente la investigación ha logrado establecer como método más eficiente para determinar la evapotranspiración potencial al método de Thornthwaite y Wilm, en donde presenta un mejor desempeño en fase de validación la eficiencia de Nash de 87%, coeficiente de determinación (R^2) de 89%.

Palabras Clave: método eficiente, modelo lluvia-escorrentía, evapotranspiración potencial

ABSTRACT

The investigation was carried out in the Huancané basin. The objective of the present work is the determination of the most efficient method to calculate the potential evapotranspiration for a Rain - Runoff Model in the Huancané Basin - Puno region. The data used were monthly from seven meteorological stations from periods 1964 to 2016 registered by the SENAMHI institution. To determine the most efficient method, nine potential evapotranspiration methods were proposed (tank type "A", Penman Monteith, Thornthwaite and Wilm, Hargreaves in based on Temperature and Radiation, Oudin, Blaney and Criddle, Turc and Jensen - Haise), with different input variables: average temperature, minimum temperature, maximum temperature, wind speed, relative humidity, evaporation and hours of sunshine, for which a hydrological modeling was performed with the nine ETP methods. With the hydrological model GR2M that has as input data precipitation, potential evapotranspiration and flow. The observed flows were compared with simulated flows at Puente Huancané station. To determine the performance of empirical methods of potential evapotranspiration, statistical indicators were used, such as the coefficient of determination (R^2), correlation coefficient (r) and Nash and Sutcliffe efficiency (NSE). Finally, the research has established as the most efficient method to determine the potential evapotranspiration to the Thornthwaite and Wilm method, where the Nash efficiency of 87%, coefficient of determination (R^2) of 89%, has a better performance in the validation phase.

Key Words: Efficient Method, Rain-Runoff Model, Potential Evapotranspiration

I. INTRODUCCIÓN

Las mediciones de evapotranspiración potencial son ampliamente utilizadas en estudios hidrológicos, sector agrícola para estimar las necesidades de riego de los cultivos, y en los estudios climáticos (Monsalve, 1995).

En la región de Puno – Perú no cuenta con mediciones directas de ETP, por lo cual se hace estrictamente necesaria su correcta aplicación mediante las fórmulas teóricas y/o empíricas que ofrecen autores como Penman, Thornthwaite, Blaney, Criddle y Turc, entre otros. Paradójicamente, la existencia de tantas metodologías ha convertido la estimación de la ETP en una ardua labor que los hidrólogos tienen que enfrentar a diario para realizar con éxito su trabajo.

Dado que la ETP se calcula a partir de información climatológica, la preocupación por encontrar una metodología óptima para su estimación se presenta en muchos países alrededor del mundo.

A nivel nacional también se han presentado trabajos que demuestran el interés por determinar de una manera más precisa la ETP. En la región de Puno. (Flores 2013) realizó un estudio comparativo de fórmulas de (evapotranspiración de referencia) en el cual dando como métodos que más se ajustan a la región de Puno al método de Penman - Monteith y Hargreaves – Samanias.

El principal problema que presenta la región de Puno es la ausencia de datos climáticos como radiación solar u horas de sol, velocidad del viento, humedad relativa y evaporación, tal es necesidad de recorrer a métodos empíricos que determinen la evapotranspiración potencial sin usar estos parámetros climáticos, tal es la razón de comprobar su influencia de estos métodos de varios parámetros climáticos con respecto a métodos que determinan la ETP. En base a un parámetro climático en un estudio hidrológico, que mejor la cuenca Huancané para poder realizar esta investigación que si cuenta con estos variables climáticos.

Con el desarrollo del trabajo se busca determinar el método más eficiente, en base a nueve métodos de evapotranspiración potencial la que presenta menor parámetro climático y que tenga mayor correlación en la simulación de caudal con modelo hidrológico GR2M con las medidas directas de caudales en la estación puente Huancané.

Será considerado como método eficiente, Para lo cual tenemos como objetivos:

1.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar el Método más Eficiente para calcular la evapotranspiración potencial para un Modelo Lluvia-Escorrentía en la Cuenca Huancané – Puno.

1.1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Realizar modelamiento hidrológico con GR2M utilizando los diferentes métodos de cálculo de evapotranspiración potencial.

- b) Realizar un análisis comparativo entre los métodos de un parámetro con respecto a varios parámetros y determinar el más Eficiente de ETP para un Modelo Lluvia - Escorrentía.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES

En los últimos años los diferentes países, múltiples instituciones y profesionales abocados a la hidrología y otras ramas, han estado evidenciando un interés significativo.

2.1.1 ANTECEDENTE INTERNACIONAL

Las numerosas metodologías para estimar la evapotranspiración Potencial, involucran datos monitoreados rutinariamente en estaciones meteorológicas. La validez de estos procedimientos se verifica al contrastar los resultados de evapotranspiración calculados, frente a aquellos medidos empleando los instrumentos de campo.

En el trabajo de Trambouzea et al. (1998), por ejemplo, los métodos de balance energético e hídrico son empleados para determinar la evapotranspiración real, y posteriormente, comparados con las mediciones por separado de la evaporación del suelo (empleando micro lisímetros) y la transpiración de las plantas (empleando medidores de flujo de savia). La experiencia, realizada en viñedos de Francia durante dos meses, muestra que estadísticamente no hay diferencias significativas entre los métodos de balance hídrico y energético aplicados en este sitio.

Precisamente, según Allen et al. (1998) el método de Penman-Monteith puede considerarse como el de referencia a nivel mundial por ser el que mejor se adapta a las diferentes condiciones climáticas existentes en todo el planeta,

como así lo demuestran trabajos anteriores (Jensen et al., 1990; Gavilán, 2002). Si bien es extensa la bibliografía que muestra que el método de Penman-Monteith es el más adecuado a los fines de estimar la evapotranspiración, diversos autores muestran que son otros los métodos que proporcionan los mejores ajustes. Así, por ejemplo, en Egipto, comparando 15 métodos diferentes, Shawky y Sallam (1993) encuentran que el método de Turc es el que mejor se ajusta a las medidas del lisímetro. Otro trabajo lo constituye el de Caliandro et al. (1996), quienes determinaron que en la costa de Italia el método de Penman-Monteith sobreestima en un 14% las medidas lisimétricas mientras que el método de tanque de evaporación clase A lo hace sólo en un 6%.

El estudio desarrollado por Qiu et al. (1999), en Japón, muestra la implementación de un modelo que separa la evapotranspiración en evaporación y transpiración, aplicado a superficies de suelo desnudo y con cubierta vegetal. Nuevamente, los resultados alcanzados por el modelo son comparados con aquellos obtenidos en parcelas experimentales por medio de lisímetros.

Dehgani Sanij et al. (2004) extienden la estimación de la evapotranspiración potencial a seis (6) métodos: Penman, Penman-Monteith, Wright Penman, Blaney Criddle, Hargreaves y el de Balance de Radiación. Los valores son calculados en un ambiente semiárido de Irán, y comparados con las mediciones experimentales obtenidas con lisímetros, concluyendo en que la mejor estimación en esta zona se alcanza con el método de Penman.

Finalmente, Sumner y Jacobs (2005) comparan las mediciones de evapotranspiración con los valores estimados utilizando los métodos de Penman

Monteith y Priestley y Taylor. Si bien ambos métodos alcanzan un buen ajuste con las mediciones, el procedimiento de Priestley y Taylor supera al de Penman Monteith cuando en los cálculos se utilizan valores de irradiación medidos.

Kimura et al. (2006) y McVicar et al. (2007) emplean el método de Penman Monteith pero, esta vez, para estimar la evapotranspiración potencial. El primer trabajo se realiza en China y, con el objeto de estudiar el efecto del inapropiado uso de la tierra sobre la desertificación, se analiza la relación entre la resistencia de la tierra y las distintas variables en la ecuación de Penman-Monteith. El segundo trabajo estima la evapotranspiración en Australia teniendo en cuenta la influencia topográfica sobre las variables meteorológicas que, como dato de entrada, requiere este método. Así, interpolando estas variables en función de la topografía, generan la distribución espacial de la evapotranspiración potencial.

Douglas et al. (2009), en el cual se analizan los datos de evapotranspiración potencial diaria obtenidos con el método de covarianza de Eddy en tres (3) sitios de Estados Unidos con diferente cobertura: agua, pantano y cubierta vegetal. Los valores de evapotranspiración potencial calculados con los métodos de Turc, Priestley y Taylor y Penman-Monteith se contrastan con los

valores experimentales concluyendo en que, a escala diaria, el método de Priestley y Taylor es el más exacto para los tres tipos de cobertura.

M. Laura L., (2011), “Análisis de los métodos de estimación de evaporación y evapotranspiración a las condiciones locales de la ciudad de Córdoba” (tesis de Maestría). Universidad Nacional De La Pampa. Secretaría de Investigación. Postgrado Maestría en Ciencias Hídricas, España. Realizo una comparación de tres métodos de cálculo de la evapotranspiración potencial, hasta llegara definir el método más eficiente para las condiciones locales de la ciudad de Córdoba.

2.1.2 ANTECEDENTE NACIONAL

Con lo que respecta a este proyecto, no existen otras investigaciones que lo hayan tratado una comparación de evapotranspiración potencial. Pero si determinaron la evapotranspiración para diferentes cultivos a nivel nacional, por cual considero, que el estudio que estoy realizando, reúne las condiciones metodológicas y temáticas suficientes para ser considerado como una investigación.

2.2 MODELO LLUVIA - ESCORRENTÍA

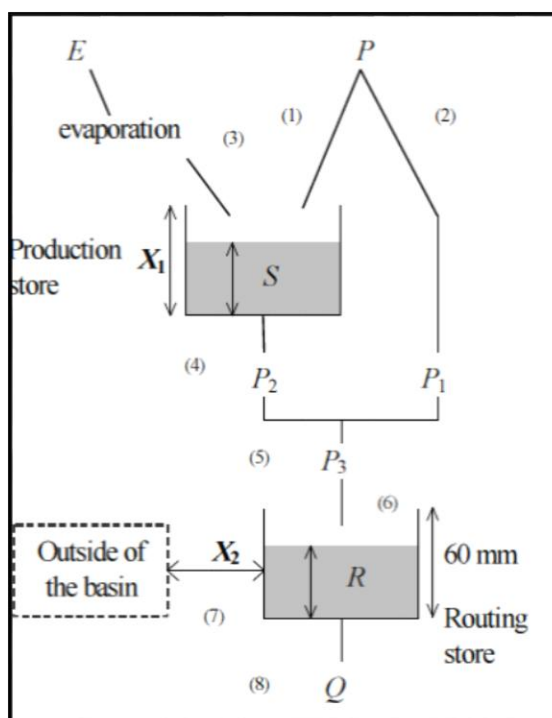
Según (Carvajal, 2017). Los modelos lluvia escorrentía agregados son valiosos para predecir y simular los caudales con base en una conceptualización que represente en forma simplificada los procesos físicos en la cuenca: infiltración, evaporación, flujo sub superficial y flujo subterráneo.

2.3 MODELO GR2M

Según (Mena, 2010). Es un modelo desarrollado por el CEMAGREF (Centro de Investigación Agrícola e Ingeniería Ambiental, Francia), quien propuso un modelo global, lo más simple posible, para reconstruir los caudales a partir de la precipitación y la evapotranspiración.

El modelo GR2M, funciona a paso de tiempo mensual, el cual está basado en la transformación de la lluvia en escorrentía, a través de la utilización de un conjunto de ecuaciones, según el modelo, (figura 1):

Figura 1. Esquema conceptual y ecuaciones del modelo GR2M.



Fuente: Mouelli. 2003.

Todas las cantidades están expresadas en mm. En las ecuaciones presentadas a continuación P y E representan la precipitación y la evaporación potencial promediadas sobre la cuenca del río Huancané.

Debido a la precipitación, el almacenamiento en el tanque de producción, S , se convierte en S_1 , obtenido por medio de la siguiente expresión:

$$S_1 = \frac{S + X_1 \operatorname{Tanh}\left(\frac{P}{X_1}\right)}{1 + \frac{S}{X_1} \operatorname{Tanh}\left(\frac{P}{X_1}\right)} \quad \text{Ec. (2. 1)}$$

Donde X_1 representa la máxima capacidad del tanque de producción. El exceso de precipitación, P_1 , se calcula como:

$$P_1 = P + S - S_1 \quad \text{Ec. (2. 2)}$$

Debido a la evaporación (el cálculo de la evaporación real, depende del valor de E), S_1 se convierte en S_2 :

$$S_2 = \frac{S_1 \left(1 - \operatorname{Tanh}\left(\frac{E}{X_1}\right)\right)}{1 + \left(1 - \frac{S_1}{X_1}\right) \operatorname{Tanh}\left(\frac{E}{X_1}\right)} \quad \text{Ec. (2. 3)}$$

Posteriormente, una cantidad de agua P_2 es liberada del tanque de producción como percolación. De esta manera S_2 , toma un nuevo valor S , el cual representa el almacenamiento inicial en el siguiente mes:

$$S = \frac{S_2}{\left[1 + \left(\frac{S_2}{X_1}\right)^3\right]^{\frac{1}{3}}} \quad \text{Ec. (2. 4)}$$

$$P_2 = S_2 - S \quad \text{Ec. (2. 5)}$$

La suma de P_1 y P_2 es la cantidad de agua que entra en el tanque de tránsito:

$$P_3 = P_1 + P_2 \quad \text{Ec. (2. 6)}$$

El nivel inicial en tanque de tránsito, R , se actualiza como:

$$R_1 = R + P_3 \quad \text{Ec. (2. 7)}$$

Luego se calcula el término de intercambio de agua F :

$$F = (X_5 - 1)R_1 \quad \text{Ec. (2. 8)}$$

Donde X_5 es un parámetro adimensional. Si X_5 es mayor que 1, F representa una ganancia de agua para la cuenca, y si es menor que 1 representa una pérdida. El nuevo nivel en el tanque de tránsito es:

$$R_2 = X_5 * R_1 \quad \text{Ec. (2. 9)}$$

La descarga a la salida de la cuenca de interés se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$Q = \frac{(R_2)^2}{R_2 + X_4} \quad \text{Ec. (2. 10)}$$

Donde X_4 es la máxima capacidad del tanque de tránsito y tiene un valor de 60 mm. Finalmente, el nivel en el tanque de tránsito al inicio del siguiente mes se calcula como:

$$R = R_2 - Q \quad \text{Ec. (2. 11)}$$

Los parámetros que deben ser calibrados en el modelo GR2M son X_1 y X_5 .

Los procesos físicos en la cuenca, están representados por: El almacenamiento de agua en el suelo (almacenamiento en el tanque de producción, S), la infiltración, la evaporación real (E), la percolación (P_2), tránsito de escorrentía (P_1 y P_2), flujo de agua subterránea (F).

2.3.1 VALIDACIÓN Y EVALUACIÓN DE MODELOS

Según (Canales, 2015).El proceso de validación conduce a la aceptación del modelo como un simulador fiable del sistema físico. Esto no significa que sus resultados deban aceptarse como estrictamente verdaderos, sino que su estructura está limpia de errores obvios y lógicos.

La medición de errores es una de las herramientas que se emplean con mayor frecuencia para determinar la exactitud de los pronósticos. Estas mediciones emplean los valores absolutos o el cuadrado de errores. Como regla general, entre más pequeña sea la suma de los errores absolutos.

2.3.1.1 Eficiencia de Nash y Sutcliffe (NSE)

Según (Cabrera, 2008).La eficiencia de Nash-Sutcliffe se utiliza para evaluar el poder predictivo de modelos hidrológicos, se puede utilizar para describir cuantitativamente la precisión de los resultados de modelos hidrológicos para descargas. Este método puede ser usado para describir la exactitud predictiva de otros modelos. Por ejemplo, la eficiencia de Nash-Sutcliffe ha sido reportada en la literatura científica para modelos de simulación de la descarga.

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \hat{x}_i)^2}{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad \text{Ec. (2. 12)}$$

Según (Alcántara et al., 2014). Para evaluar la calidad del modelo, se puede realizar mediante una evaluación cuantitativa o cualitativa, en el caso del segundo se basa en la comparación entre los valores calculados y los valores observados. Un factor a considerar en el modelo es la función objetivo Nash,

para cuantificar la eficiencia del modelo simulado respecto al modelo observado, cuya ecuación es como sigue:

$$NSE(\log) = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (\log(x_i) - \log(\hat{x}_i))^2}{\sum_{i=1}^n (\log(x_i) - \log(\bar{x}))^2} \quad \text{Ec. (2. 13)}$$

Donde:

NSE : Eficiencia de Nash - Sutcliffe

n : Número de observaciones

x_i : Valor observado

\hat{x}_i : Valor estimado por el modelo

\bar{x} : Promedio de los datos observados

Tabla 1. Valores referenciales del Criterio de Nash-Sutcliffe

E	Ajuste
<0.2	Insuficiente
0.2 – 0.4	Satisfactorio
0.4 – 0.6	Bueno
0.6 -0.8	Muy bueno
> 0.8	Excelente

Fuente: Molnar, 2011.

2.3.1.2 Coeficiente de determinación (R^2)

Según (Steel & Torrie, 1960). El coeficiente de determinación, denominado R^2 es un estadístico usado en el contexto de un modelo cuyo principal propósito es predecir futuros resultados. El coeficiente determina la calidad del modelo para replicar los resultados, y la proporción de variación de los resultados que puede explicarse por el modelo. En el caso de un predictor perfecto R^2 es 1.

$$R^2 = 1 - \frac{(n - 1)}{n} \cdot \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \hat{x}_i)^2}{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad \text{Ec. (2. 14)}$$

Donde:

R^2 : Coeficiente de determinación

n : Número de observaciones

x : Valor observado

\hat{x}_i : Valor estimado por el modelo

\bar{x} : Promedio de los datos observados

2.3.1.3 Coeficiente de correlación (R)

Según (Barría, 2010). Corresponde a la raíz cuadrada del coeficiente de determinación y es una medida del grado de asociación entre dos variables, si son completamente independientes el coeficiente de correlación toma valor cero.

$$r = \sqrt{R^2} \quad \text{Ec. (2. 15)}$$

Donde:

R^2 : Coeficiente de determinación

r : Coeficiente de correlación

Según (Ibañez, 2009). La correlación viene del latín *cum*: con y *relatus*: relacionado, la correlación lineal permite medir si hay asociación entre dos variables o medir la intensidad de dicha asociación. Los valores del coeficiente de correlación oscilan entre +1 y -1, y se explica de la siguiente manera:

- a. El valor de $r = +1$, indica una correlación positiva perfecta o correlación directa, cuando al aumentar o disminuir el valor de la variable independiente, aumenta o disminuye también el valor de la variable dependiente (pendiente positiva).

- b. El valor de $r = -1$, expresa una correlación inversa o relación negativa perfecta: cuando al aumentar o disminuir el valor de la variable independiente, disminuye o aumenta el valor de la variable dependiente (pendiente negativa).

Los rangos que del coeficiente de correlación:

$r = 0.2$ a $r = 0.3$	coeficiente de correlación muy bajo.
$r = 0.4$ a $r = 0.5$	coeficiente de correlación bajo.
$r = 0.6$ a $r = 0.7$	coeficiente de correlación alto.
$r = 0.8$ a $r = 1.0$	coeficiente de correlación muy alto.

2.3.2 ANÁLISIS DE CONSISTENCIA DE LA INFORMACIÓN HIDROLÓGICA

Según (Villón, 2011). Menciona que, el hidrólogo o especialista que desea desarrollar un estudio hidrológico debe buscar la información de la cuenca en estudio en las instituciones encargadas de su recopilación, pero una vez obtenido ésta, una de las interrogantes que se debe hacer, ¿es confiable la información disponible?

La respuesta a esta pregunta, se obtiene realizando un análisis de consistencia de la información disponible mediante criterios físicos y métodos estadísticos que permitan identificar, evaluar y eliminar los posibles errores sistemáticos que han podido ocurrir, sea por causas naturales u ocasionadas por la intervención de la mano del hombre.

Según (Huamaní, 2014). El control de calidad de la información meteorológica se refiere a una serie de procedimientos o secuencia de pasos, cuyo fin es la obtención de la representatividad del dato, respecto a su magnitud real. Esta obtención de resultados depende no solo de las técnicas analíticas empleadas, también dependen de la calidad de los datos, densidad de la muestra, la homogeneidad de los datos, la coincidencia temporal de la observación entre estaciones. Entendemos como homogeneidad, a la serie de datos meteorológicos que no han sufrido variaciones en la ubicación de la estación meteorológica, que no poseen datos anómalos (outliers), es decir que se trata de una serie representativa de la zona o lugar de estudio.

Según (Rodríguez, 2017). En resumen, antes de utilizar la serie histórica para el modelamiento, es necesario efectuar el análisis de consistencia respectivo, a fin de obtener una serie confiable, es decir, homogénea y consistente. El análisis de consistencia de la información hidrológica, se realiza mediante los siguientes procesos:

- Análisis visual gráfico.
- Análisis doble masa.
- Análisis estadístico.

2.3.2.1 Software Hydraccess

Según (Quincho, 2015). El software HYDRACCESS fue desarrollado por el Ing. Philippe Vauchel del Instituto Francés de Investigación para el Desarrollo (IRD) a fin de ayudar al hidrólogo a hacer el tratamiento de los registros sedimentológicos. El programa se basa sobre los paquetes Access y Excel.

Éste programa, además, de manejar un banco de datos, ofrece muchos tratamientos básicos como el Vector regional, Corr/vector que permiten hacer los análisis, la crítica y el tratamiento de la información. Para la hidrometría, el programa permite:

- Almacenar características de estaciones (ubicación, cuenca, río, administrador, informe histórico, inventario de datos disponibles, etc.).
- Calcular datos diarios, mensuales y anuales a partir de datos instantáneos (con el método de trapecios).
- Exportar a Excel los aforos, a partir de los caudales se puede elaborar curvas de calibración.
- Utilizar las curvas de calibración para traducir las cotas en caudales.

El programa también incluye algunos utilitarios que permiten hacer un tratamiento avanzado de la información (caudales líquidos y sólidos).

2.4 EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL

Según (Hargreaves & Samani, 1982). Es un concepto establecido para indicar el vapor de agua que se transfiere a la atmósfera de un suelo permanentemente húmedo, cubierto por un cultivo de referencia. Se ha utilizado como cultivo de referencia la alfalfa o un pasto bien regado, en pleno desarrollo y en buenas condiciones fitosanitarias.

Según (Allen, 2000; Allen et al., 1994). La ETP depende exclusivamente de las condiciones del medio ambiente: temperaturas máximas y mínimas, radiación solar, humedad relativa, velocidad del viento, etc.

2.4.1 ELEMENTOS METEOROLÓGICOS QUE DETERMINAN LA ETP

2.4.1.1 Precipitación

Según (Vásquez, 2000). Propone la precipitación es toda forma de agua cuyo Origen está en las nubes, y cae a la superficie terrestre en forma de lluvia, granizo, garua, y nieve. En hidrología, el tipo de precipitación de mayor importancia es la lluvia, por lo cual es la variable de entrada más significativa en el sistema hidrológico.

La precipitación se mide en milímetros de agua o litros caídos por unidad de superficie (m²). La cantidad de lluvia que cae en un lugar se mide con los instrumentos como pluviómetros o pluviógrafos.

2.4.1.2 Temperatura

Según (Machaca, 2016). En las estaciones meteorológicas convencionales y automáticas, la temperatura del aire se mide dentro de abrigos meteorológicos (pantallas de Stevenson o casetas ventiladas) a 2m de la superficie, de acuerdo a los estándares de la Organización Meteorológica Mundial (OMM).

La temperatura del aire se mide con termómetros o termopares instalados en el abrigo, los termómetros de mínima y máxima registran la temperatura mínima y máxima del aire en un periodo de 24 horas.

2.4.1.3 Humedad relativa

Según (Machaca, 2016). La humedad relativa (HR) es la proporción de vapor de agua real que contiene a una determinada temperatura y la cantidad que

podría contener si estuviera saturado a la misma temperatura, se expresa comúnmente como porcentaje.

2.4.1.4 Velocidad del viento

Según (Espinoza, 2012). Define al viento como la variable de estado de movimiento del aire, esto es, el aire en movimiento de forma horizontal y vertical, estos últimos caracterizan los fenómenos atmosféricos locales, con formación de nubes de tormenta. El viento se produce por las diferencias de temperatura existentes al producirse un desigual calentamiento de las diversas zonas del planeta.

El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología – SENAMHI, mide la velocidad del viento con el aparato meteorológico “Anemómetro” y la dirección del viento con la “Veleta”.

2.4.1.5 Radiación solar

Según Romero (Rodríguez, 2015). La radiación solar es una corriente de energía que el sol irradia uniformemente en todas las direcciones del espacio en forma de ondas electromagnéticas o cantidad de energía procedente del sol que se recibe en una superficie y en un tiempo determinado.

El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología – SENAMHI, mide la duración de insolación diaria con el aparato meteorológico llamado “Heliógrafo”.

2.4.1.6 Evaporación

Según (FAO, 2006). La evaporación es el proceso por el cual el agua líquida se convierte en vapor de agua (vaporización) y se retira de la superficie evaporante (remoción de vapor). El agua se evapora de una variedad de superficies, tales como lagos, ríos, caminos, suelos y la vegetación mojada.

Según (Goyal, 2007). La evaporación es un proceso en que se transfiere agua desde el suelo de vuelta a la atmósfera. Luego de un período de lluvia o riego parte del agua aplicada se pierde por evaporación directa a través de la superficie del suelo.

2.4.2 MÉTODOS PARA CALCULAR LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL

Según (Herrera, 2013). Los métodos pueden clasificarse en métodos directos e indirectos. Los primeros proporcionan directamente el consumo total del agua requerida, utilizando para ello aparatos e instrumentos para su determinación. Los segundos en forma indirecta y bajo la utilización de fórmulas empíricas, obtienen los consumos de agua a través de todo el ciclo vegetativo de la planta.

2.4.2.1 Métodos directos

2.4.2.1.1 Método de tanque de evaporación clase "A"

Según (Medina, 2000). La Tina de Evaporación Clase "A" estándar es un dispositivo que sirve para medir la cantidad de agua que se evapora hacia la atmósfera por efecto de la radiación solar, temperatura, velocidad del viento y humedad relativa, expresada en milímetros por día.

Según (Allen et al., 2006). La evaporación del tanque está relacionada con la evapotranspiración de referencia por un coeficiente empírico derivado del mismo tanque; La ecuación general para estimar la evapotranspiración potencial ETP por medio de lecturas de evaporación de una bandeja es:

$$ETP = K * E_v \quad \text{Ec. (2. 16)}$$

Donde:

ETP : Evapotranspiración potencial (mm/mes).

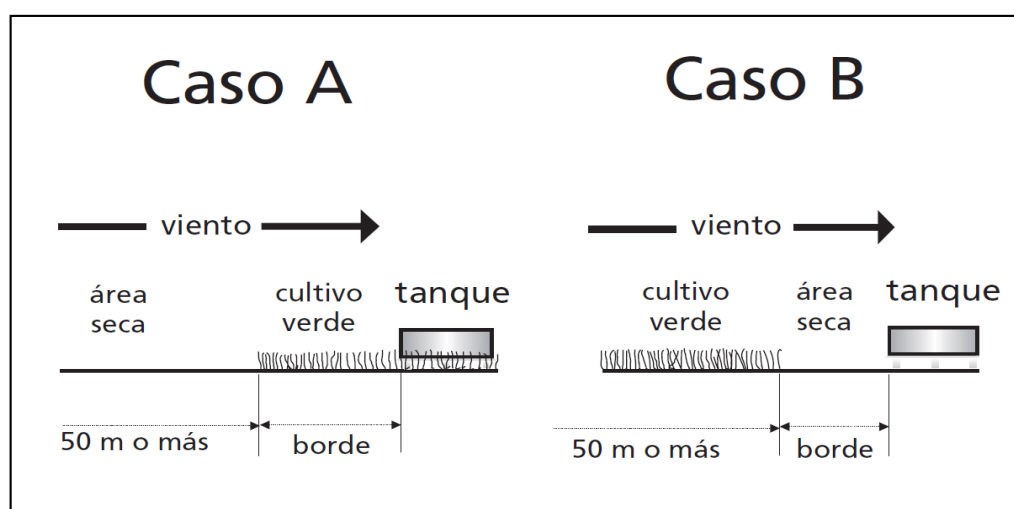
k : Coeficiente de tanque. (Tabla N° 2).

E_v : Evaporación de tanque (mm).

Coeficiente del tanque:

Según (Allen et al., 1998). Dependiendo del tipo de tanque y del tamaño y estado de la zona tampón (borde), los coeficientes del tanque evaporímetro tendrán valores diferentes. Cuanto más grande es la zona tampón (borde), más rápidamente el aire que se mueve sobre el tanque estará en equilibrio con ella. En equilibrio y con un gran borde, el aire contiene más vapor de agua y menos calor en el caso A que en el caso B (Figura 2).

Figura 2. Casos de localización del tanque de evaporación.



Fuente: Allen et al (2006).

Ecuación de regresión para el tanque Clase “A” situado en un cultivo verde

(Caso A):

$$K_p = 0.108 - 0.0286u_2 + 0.0422 \ln(\text{borde}) + 0.1434 \ln(HR_{\text{mean}}) \\ - 0.000631 [\ln(\text{borde})]^2 \ln(HR_{\text{mean}})$$

Ecuación de regresión para el tanque Clase “A” situado en un suelo desnudo

(caso B):

$$K_p = 0.61 + 0.00341 HR_{\text{mean}} - 0.000162 u_2 HR_{\text{mean}} - 0.00000959 u_2 (\text{borde}) \\ + 0.00327 u_2 \ln(\text{borde}) - 0.00289 u_2 \ln(86.4 u_2) \\ - 0.0106 \ln(86.4 u_2) \ln(\text{borde}) + 0.00063 [\ln(\text{borde})]^2 \ln(86.4 u_2)$$

Donde:

K_p : Coeficiente del tanque.

U_2 : Velocidad del viento diaria promedio a 2m de altura [m/s].

HR_{mean} : Humedad relativa diaria promedio [%].

borde : Distancia al borde de la superficie caso A y caso B.

Rango de variables:

$$1\text{m} \leq \text{borde} \leq 1000\text{m}$$

$$30\% \leq HR_{\text{mean}} \leq 84\%$$

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

Tabla 2. Coeficientes k_p para el tanque clase A.

viento (Km/d)	Radio de cultivo (m)	CASO A: Tanque situado sobre pasto o cultivo			Radio de suelo desnudo (m)	CASO B: Tanque situado sobre suelo desnudo		
		Humedad Relativa media (%)				Humedad Relativa media (%)		
		Baja	Media	Alta		Baja	Media	Alta
		< 40	40 -70	> 70		< 40	40 -70	> 70
Ligero < 175 Km/d (<2 m/s)	1	0.55	0.65	0.75	1	0.70	0.80	0.85
	10	0.65	0.75	0.85	10	0.60	0.70	0.80
	100	0.70	0.80	0.85	100	0.55	0.65	0.75
	1000	0.75	0.85	0.85	1000	0.50	0.60	0.70
Moderado 175-425 Km/d (2-5 m/s)	1	0.50	0.60	0.65	1	0.65	0.75	0.80
	10	0.60	0.70	0.75	10	0.55	0.65	0.70
	100	0.65	0.75	0.80	100	0.50	0.60	0.65
	1000	0.70	0.80	0.80	1000	0.45	0.55	0.60
Fuerte 425-700 Km/d (5-8 m/s)	1	0.45	0.50	0.60	1	0.60	0.65	0.70
	10	0.55	0.60	0.65	10	0.50	0.55	0.65
	100	0.60	0.65	0.70	100	0.45	0.50	0.60
	1000	0.65	0.70	0.75	1000	0.40	0.45	0.55
Muy fuerte > 700 Km/d (>8 m/s)	1	0.40	0.45	0.50	1	0.50	0.60	0.65
	10	0.45	0.55	0.60	10	0.45	0.50	0.55
	100	0.50	0.60	0.65	100	0.40	0.45	0.50
	1000	0.55	0.60	0.65	1000	0.35	0.40	0.45

Fuente: Allen et al (2006).

2.4.2.2 Métodos indirectos:

2.4.2.2.1 Método Penman - Monteith

Según (Allen et al., 2006). En mayo de 1990 la FAO organizo un panel de expertos con el fin de revisar las metodologías previamente propuestas por la FAO para el cálculo de los requerimientos de agua de los cultivos y para elaborar recomendaciones y actualizar procedimientos, respecto a este.

El método de FAO Penman-Monteith fue seleccionado y recomendado como el único método estándar para determinar la evapotranspiración de referencia (ET_o), dado que ha demostrado un mejor comportamiento y consistencia al determinar la ET_o en el ámbito global, en una amplia gama geográfica y climática. Así mismo, este método reduce las imprecisiones del método FAO

Penman; por consiguiente no aconseja el uso de ecuaciones antiguas de la FAO o de otras ecuaciones para el cálculo de la ETo.

A.1. ECUACIÓN DE PENMAN-MONTEITH FAO 56

La evapotranspiración potencial es calculada (preferiblemente) con la ecuación de Penman-Monteith directamente. Esto es conocido como el método de un paso. La aproximación requiere datos sobre la resistencia del cultivo, los cuales no siempre están disponibles. Se espera que el método de un solo paso expanda su uso en la próxima década.

El método de dos pasos es el más popular en el presente. Calcula la evapotranspiración potencial del cultivo desde:

$$ETP. = K_c ETo \quad \text{Ec. (2. 17)}$$

Donde

K_c :es un factor de cultivo.

ETo :es la evapotranspiración de referencia.

La ecuación de FAO Penman -Monteith para estimar la evapotranspiración de referencia (ETo) fue derivado de la ecuación original de Penman -Monteith y de las ecuaciones de resistencia aerodinámica y la resistencia superficial.

Para el cálculo de la ecuación del método de FAO Penman-Monteith se requiere datos de radiación solar, temperatura del aire, humedad relativa y velocidad del viento, la ecuación 2.18 determina la ETo .

La ecuación utilizada por la FAO Penman –Monteith para periodos diarios es:

$$ETo = \frac{0.408 \Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34 u_2)} \quad \text{Ec. (2. 18)}$$

Donde:

- E_{To} : Evapotranspiración de referencia [mm día-1]
 R_n : Radiación neta en la superficie del cultivo [MJ m-2 día-1]
 R_a : Radiación extraterrestre [mm día-1]
 G : Flujo del calor de suelo [MJ m-2 día-1]
 T : Temperatura media del aire a 2 m de altura [°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 [kPa °C-1]
 γ : Constante psicrométrica [kPa °C-1]

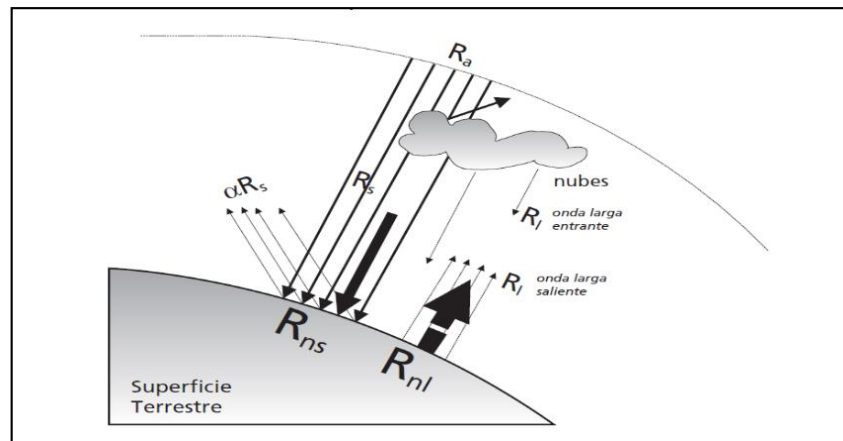
A.2. PARÁMETROS DE LA ECUACIÓN DE PENMAN – MONTEITH FAO 56

1. PARÁMETROS DE RADIACIÓN:

a. Radiación neta en la superficie del cultivo (R_n).

La radiación neta R_n es la diferencia entre la radiación entrante y saliente de longitudes de onda cortas y largas. Expresado de otra manera es el equilibrio entre la energía absorbida, reflejada y emitida por la superficie terrestre o la diferencia de la radiación de onda corta entrante (R_{ns}) y la radiación de onda larga saliente (R_{nl}) (Figura 3). El R_n es normalmente positiva en el día y negativa en la noche.

Figura 3. Componentes de la radiación.



Fuente: Allen et al (2006).

La radiación neta (R_n) es la diferencia entre la radiación neta de onda corta (R_{ns}) y la radiación neta de onda larga (R_{nl}).

$$R_n = R_{ns} - R_{nl}$$

Ec. (2. 19)

Donde:

R_n : Radiación neta [$\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$].

R_{ns} : Radiación neta de onda corta [$\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$].

R_{nl} : Radiación neta de onda larga [$\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$].

b. Radiación neta de onda corta (R_{ns}).

Una cantidad considerable de la radiación solar que llega a la superficie de la tierra se refleja. La fracción α , de la radiación solar que es reflejada por la superficie se conoce como albedo. El albedo es muy variable de acuerdo al tipo de superficie y el ángulo de incidencia o la pendiente de la superficie terrestre. Este parámetro varía desde 0.95 para la nieve recientemente caída a 0.05 para un suelo desnudo y húmedo. Una cubierta verde de vegetación tiene un albedo de entre 0.20 a 0.25, para el cultivo de referencia, se asume que atiene un valor de 0.23 (Figura 3).

La radiación neta de onda corta resultante del equilibrio entre la radiación solar entrante y la reflejada está dada por:

$$R_{ns} = [1 - \alpha]R_s \quad \text{Ec. (2. 20)}$$

Donde:

R_{ns} : radiación neta de onda corta [$\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$].

α : α albedo o coeficiente de reflexión del cultivo, para cultivo de referencia es 0.23.

R_s : radiación solar entrante [$\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$].

c. Radiación neta de onda larga (R_{nl}).

La radiación solar absorbida por la tierra se convierte en energía térmica. Por varios procesos, incluyendo la emisión de radiación, la tierra pierde esta energía. La tierra, que tiene una temperatura mucho más baja que el sol, emite energía radiante con longitudes de onda más largas que el sol. Por ello, la radiación terrestre se conoce como radiación de onda larga.

La radiación de onda larga emitida por el planeta es absorbida por la atmosfera, así la atmosfera irradia también energía que se dirige a la tierra. Por lo tanto, la superficie terrestre emite y recibe radiación de onda larga. La diferencia entre la radiación de onda larga entrante y saliente se llama radiación neta de onda larga, R_{nl} (Figura 3).

La ley de Stefan-Boltzmann utiliza el promedio de la temperatura mínima y máxima elevada a la cuarta potencia. El termino $(0,34-0,14\sqrt{ea})$ expresa la corrección para la humedad del aire, y será más pequeño con valores más

elevados de humedad. El efecto de la nubosidad se expresa por $(1,35 R_s/R_{s0} - 0,35)$.

$$R_{nl} = \sigma \left[\frac{T_{\max,K}^4 + T_{\min,K}^4}{2} \right] * [0.34 - 0.14\sqrt{e_a}] * \left[1.35 \frac{R_s}{R_{s0}} - 0.35 \right] \quad \text{Ec. (2. 21)}$$

Donde:

R_{nl} : Radiación neta de onda larga [$\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$].

Σ : Constante de Stefan-Boltzman [$4.903 \times 10^{-9} \text{ MJ K}^{-4} \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$].

$T_{\max,K}$: Temperatura máxima absoluta en un periodo de 24 horas [$\text{K} = ^\circ\text{C} + 273.16$].

$T_{\min,K}$: Temperatura mínima absoluta en un periodo de 24 horas [$\text{K} = ^\circ\text{C} + 273.16$].

e_a : Presión de vapor real [kPa].

R_s/R_{s0} : Radiación relativa de onda corta (valores ≤ 1.0).

R_s : Radiación solar medida o calculada (Ecu. 2.22) [$\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$].

R_{s0} : Radiación un día despejado (Ecu. 2.24 o 2.25) [$\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$].

d. Radiación solar (R_s).

La radiación solar R_s es una fracción de la radiación extraterrestre R_a ; cuando la radiación extraterrestre atraviesa la atmosfera para llegar a la superficie terrestre, parte de ella se refleja y se absorbe al atravesar la atmósfera. La cantidad de radiación que llega a un plano horizontal en la superficie terrestre se conoce como radiación solar, R_s (Figura3). En un día despejado, R_s constituye aproximadamente el 75% de la radiación extraterrestre y en un día nublado este valor disminuye a 25% de la radiación extraterrestre.

$$R_s = \left[a_s + b_s \frac{n}{N} \right] R_a$$

Ec. (2. 22)

Donde:

R_s : Radiación solar o de onda corta [MJ m⁻² día⁻¹].

n : Duración real de la insolación [horas]

N : Duración máxima posible de la insolación [horas]

n/N : Duración relativa de la insolación[-]

R_a : Radiación extraterrestre [MJ m⁻² día⁻¹]

a_s : Constante de regresión, que expresa la fracción radiación

$a_s + b_s$: Fracción de la radiación extraterrestre que llega a la tierra en días despejados

e. Duración máxima de la insolación (N).

La duración máxima de la insolación N, está dada por la (ecuación 2.23). Los valores medios para N (día 15 de cada mes) para diferentes latitudes se presentan en el Anexo, (Tabla A.2)

$$N = \frac{24}{\pi} * \omega_s$$

Ec. (2. 23)

Donde:

N : Duración máxima de la insolación [horas]

ω_s : Ángulo de radiación a la puesta del sol (Ecuación 2.28) [rad].

f. Radiación solar en un día despejado (R_{so}).

R_s es la radiación solar que realmente llega a la superficie terrestre en un determinado periodo, mientras que R_{so} es la radiación solar que alcanzaría la

misma superficie durante el mismo periodo si el cielo estuviera despejado. Para el cálculo de la radiación solar en días despejados R_{SO} , cuando $n=N$, puede ser calculada de la siguiente manera.

En casos en que los valores calibrados de a_s y b_s estén disponibles:

$$R_{SO} = [a_s + b_s] R_a \quad \text{Ec. (2. 24)}$$

Donde:

R_{SO} : Radiación solar en un día despejado [$\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$].

$a_s + b_s$: Fracción de la radiación extraterrestre que llega a la tierra en días despejados.

En casos en que los valores calibrados de a_s y b_s no estén disponibles:

$$R_{SO} = [0.75 + 2 * 10^{-5} * Z] R_a \quad \text{Ec. (2. 25)}$$

Donde:

R_{SO} : Radiación solar en un día despejado [$\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$].

Z : Elevación de la estación sobre el nivel de mar [m].

g. Radiación extraterrestre (R_a).

La radiación solar recibida en la parte superior de la atmosfera terrestre sobre una superficie horizontal se conoce como radiación (solar) extraterrestre R_a . Si el sol se encuentra directamente encima de la cabeza, el ángulo de incidencia es cero y la radiación extraterrestre es $0,082 \text{ MJ m}^{-2} \text{ min}^{-1}$. Así como las estaciones cambian, la posición del sol, la radiación extraterrestre también cambia de esta forma la radiación extraterrestre es una función de la latitud, la época del año y la hora del día.

La radiación extraterrestre R_a , para cada día y para diversas latitudes se puede estimar a partir de la constante solar, la declinación solar y época del año.

$$R_a = \frac{24 * 60}{\pi} * G_{SC} * d_r [\omega_s \sin(\varphi) \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cos(\delta) \sin(\omega_s)] \quad \text{Ec. (2. 26)}$$

Donde:

R_a : Radiación extraterrestre [$\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$].

G_{SC} : constante solar = $0,082 \text{ MJ m}^{-2} \text{ min}^{-1}$

d_r : distancia relativa inversa Tierra-Sol (Ecuación 2.27)

ω_s : ángulo de radiación a la puesta del sol (Ecuaciones 2.28) [rad]

Φ : latitud [rad] (Ecuación 2.29)

δ : Declinación solar (Ecuación 2.30) [rad].

h. Distancia relativa inversa Tierra-Sol (d_r).

Para calcular la distancia relativa inversa Tierra-Sol (d_r), es necesario seleccionar J , donde J es el número del día en el año entre 1 (1 de enero) y 365 (31 de diciembre); los valores de J para todos los días del año y una ecuación para estimar su valor se presentan en el Anexo (Tabla N° A.8).

$$d_r = 1 + 0.033 * \cos\left(\frac{2\pi}{365} \cdot J\right) \quad \text{Ec. (2. 27)}$$

Ángulo de radiación (ω_s).

Ángulo de radiación (ω_s), a la hora de la puesta del sol se da por:

$$\omega_s = \arcsin[-\tan(\varphi) * \tan(\delta)] \quad \text{Ec. (2. 28)}$$

Latitud φ [rad].

La latitud (φ), expresada en radianes es positiva para el hemisferio norte y negativa para el hemisferio sur. La conversión de grados decimales a radianes se da por:

$$\varphi[\text{rad}] = \frac{\pi}{180} [\text{latitud en grados decimales}] \quad \text{Ec. (2. 29)}$$

Declinación solar (δ).

Para calcular la declinación solar (δ), es necesario seleccionar J, donde J es el número del día en el año entre 1 (1 de enero) y 365 (31 de diciembre); los valores

de J para todos los días del año se presentan en el Anexo (Tabla A.8).

$$\delta = 0.409 * \sin\left(\frac{2\pi}{365} J - 1.39\right) \quad \text{Ec. (2. 30)}$$

i. Flujo del calor de suelo (G).

El flujo del calor del suelo G, es la energía que se utiliza para calentar el suelo. G tiene valores positivos cuando el suelo se calienta y negativos cuando el suelo se enfría. Aunque el flujo calórico del suelo es pequeño comparado con R_n y puede ser no considerado con frecuencia, la cantidad de energía ganada o perdida por el suelo en este proceso teóricamente debe restarse o agregarse a R_n para estimar la evapotranspiración, por lo tanto se puede calcular el flujo del calor del suelo para periodos cortos y largos.

Para periodos diarios: Como la magnitud del flujo de calor bajo la superficie de referencia es relativamente pequeña, esta puede ser ignorada y entonces:

$$G_{\text{día}} = 0 \quad \text{Ec. (2. 31)}$$

Para periodos mensuales: Si se asume una capacidad calorífica constante del suelo de $2.1 \text{ MJ m}^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ y una profundidad media de suelo.

$$G_{\text{mes}} = 0.07 (T_{\text{mes},i+1} - T_{\text{mes},i-1}) \quad \text{Ec. (2. 32)}$$

Donde:

$T_{\text{mes}, i}$: temperatura media del aire en el mes i [$^\circ\text{C}$]

$T_{mes, i-1}$: temperatura media del aire en el mes $i-1$ [$^{\circ}\text{C}$]

$T_{mes, i+1}$: temperatura media del aire en el mes $i+1$ [$^{\circ}\text{C}$]

2. CONVERSIÓN DE VELOCIDAD DEL VIENTO

a. Velocidad del viento a 2 m de altura (u_2).

La velocidad del viento a diversas alturas sobre la superficie del suelo tiene diferentes valores. La fricción superficial tiende a reducir la velocidad del viento que atraviesa la superficie. La velocidad del viento es menor cerca de la superficie y aumenta con altura.

Por esta razón los anemómetros se colocan a una altura estándar elegida, 10 m en meteorología y 2 o 3 m en agro meteorología. Para el cálculo de la evapotranspiración, se requiere la velocidad del viento medida a 2 m sobre la superficie. Para ajustar los datos de velocidad del viento obtenido de instrumentos situados a elevaciones diferentes a la altura estándar de 2 m, se puede usar una relación logarítmica:

$$u_2 = u_z * \frac{4.87}{\ln(67.8 * z - 5.42)} \quad \text{Ec. (2. 33)}$$

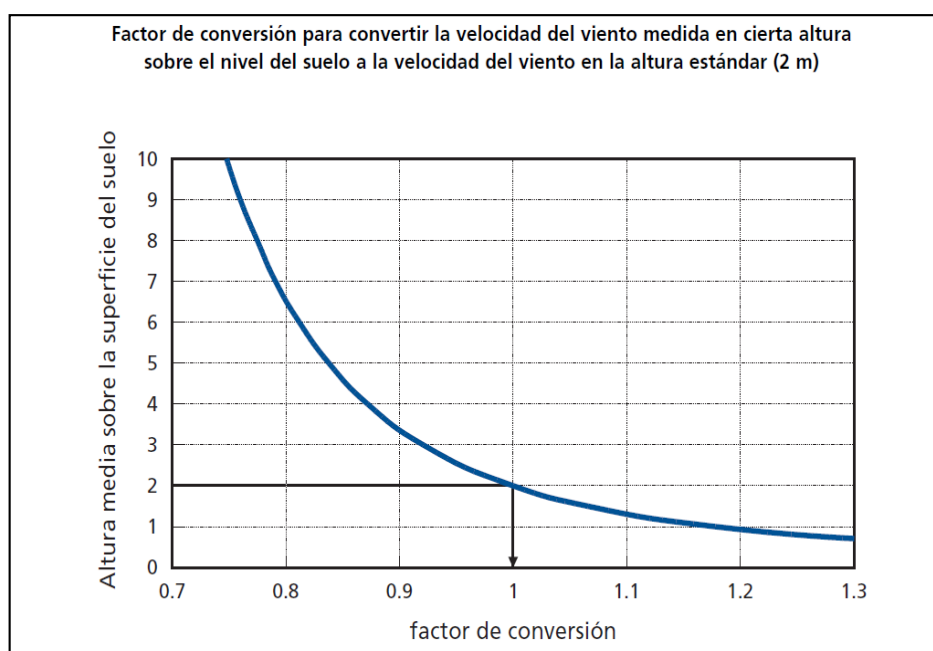
Donde:

u_2 : velocidad del viento a 2m de altura [m s^{-1}].

u_z : velocidad del viento medida a z m sobre la superficie [m s^{-1}].

z : altura de medición sobre la superficie [m].

Figura 4. Factores de conversión para convertir la velocidad del viento.



Fuente: Allen et al (2006).

3. PARÁMETROS DE HUMEDAD

a. Presión de vapor de saturación (e_s).

La presión de saturación de vapor puede ser calculada en función de la temperatura del aire, pues depende de ella. La relación entre ambas variables se expresa como:

$$e^o(T) = 0.6108 * \exp \left[\frac{17.27 * T}{T + 237.3} \right] \quad \text{Ec. (2. 34)}$$

Donde:

$e^o(T)$: presión de saturación de vapor a la temperatura del aire, T
[kPa]

T : temperatura del aire [°C]

exp : 2.7183 (base del logaritmo natural) elevado a la potencia [..]

El uso de la temperatura media del aire en lugar de T_{max} y T_{min} da lugar a subestimaciones de la presión media de saturación de vapor, lo cual llevaría a una subestimación de la ET_o . Por lo tanto, es recomendable calcular la presión

de saturación de vapor como el promedio de la presión de saturación de vapor a la temperatura máxima y a la temperatura mínima del aire.

$$e_s = \frac{e^{\circ}(T_{\max}) + e^{\circ}(T_{\min})}{2} \quad \text{Ec. (2. 35)}$$

Donde:

e_s : presión de saturación de vapor [kPa]

$e^{\circ}(T_{\min})$: presión de saturación de vapor a la temperatura mínima diaria [kPa]

$e^{\circ}(T_{\max})$: presión de saturación de vapor a la temperatura máxima diaria [kPa]

Los valores de la presión de saturación de vapor en función de la temperatura del aire se presentan en el Anexo (Tabla A.10).

b. Presión real de vapor (e_a).

La presión real de vapor se puede también derivar de la humedad relativa, dependiendo de la disponibilidad de datos de humedad, se pueden utilizar diversas ecuaciones.

$$e_a = \frac{e^{\circ}(T_{\min}) \frac{HR_{\max}}{100} + e^{\circ}(T_{\max}) \frac{HR_{\min}}{100}}{2} \quad \text{Ec. (2. 36)}$$

Donde

e_a : presión real de vapor [kPa]

$e^{\circ}(T_{\min})$: presión de saturación de vapor a la temperatura mínima diaria [kPa]

$e^{\circ}(T_{\max})$: presión de saturación de vapor a la temperatura máxima diaria [kPa]

HR_{max} : humedad relativa máxima [%]

HR_{min} : humedad relativa mínima [%]

c. 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.

$$(e_s - e_a) = \left[\frac{e^{\circ}(T_{max}) + e^{\circ}(T_{min})}{2} \right] - \left[\frac{e^{\circ}(T_{min}) \frac{HR_{max}}{100} + e^{\circ}(T_{max}) \frac{HR_{min}}{100}}{2} \right] \quad Ec. (2. 37)$$

d. Pendiente de la curva de presión de vapor (Δ):

Para el cálculo de evapotranspiración, se requiere calcular la pendiente de la relación entre la presión de saturación de vapor y la temperatura. La pendiente de la curva a una temperatura dada se da por:

$$\Delta = \frac{4098 * \left[0.6108 * \exp\left(\frac{17.27 * T}{T + 237.3}\right) \right]}{(T + 237.3)^2} \quad Ec. (2. 38)$$

Donde:

Δ : Pendiente de la curva de la presión de saturación de vapor [kPa °C⁻¹]

T : Temperatura media del aire [°C]

exp : 2.7183 (base del logaritmo natural) elevado a la potencia.

Los valores de la pendiente Δ para diversas temperaturas del aire se presentan en el Anexo (Tabla 2.1). Para su aplicación en la ecuación FAO Penman-Monteith, la pendiente de la curva de presión de vapor (Δ) se calcula usando la temperatura media.

4. PARÁMETROS ATMOSFÉRICOS:

a. Constante psicrométrica (γ):

El calor específico es la cantidad de energía requerida para aumentar la temperatura de una unidad de masa de aire en 1°C a presión constante. Su valor depende de la composición del aire, fundamentalmente de su humedad. Para condiciones atmosféricas medias se puede utilizar el $C_p = 1.013 \times 10^{-3}$ MJ kg⁻¹ °C⁻¹. Dado que se aplica un valor medio de presión atmosférica en cada localidad (Ecuación 2.3), la constante psicrométrica también se mantiene constante para cada localidad. Los valores para la constante psicrométrica en función de la altitud se encuentran en el Anexo (Tabla A.12).

$$\gamma = \frac{C_p * P}{\varepsilon * \lambda} = 0.665 * 10^{-3} * P \quad \text{Ec. (2. 39)}$$

Donde:

γ : Constante psicrométrica [kPa °C⁻¹]

P : Presión atmosférica [kPa]

λ : Calor latente de vaporización, 2.45 [MJ kg⁻¹]

C_p : Calor específico a presión constante, 1.013×10^{-3} [MJ kg⁻¹ °C⁻¹]

ε : Cociente del peso molecular de vapor de agua /aire seco = 0.622.

b. Calor latente de vaporización (λ):

El calor latente de vaporización λ , expresa la energía requerida para cambiar una masa de unidad de agua líquida a vapor de agua bajo presión y temperatura constantes. El valor del calor latente de vaporización varía en función de la temperatura. Cuanto más elevada sea la temperatura, menos energía será requerida. Como λ varía levemente dentro de rangos de temperaturas normales, se considera un valor constante de 2,45 MJ kg⁻¹ para

la simplificación de la ecuación de FAO Penman-Monteith. Este valor corresponde al calor latente de vaporización a una temperatura del aire de alrededor de 20 °C.

c. Presión atmosférica (P).

La presión atmosférica es la presión ejercida por el peso de la atmosfera terrestre, La evaporación en altitudes elevadas ocurre en parte gracias a la baja presión atmosférica que se expresa con la constante psicrométrica. Este efecto es, sin embargo, pequeño y en los procedimientos del cálculo, el valor medio para una localidad es suficiente. Para calcular P puede emplearse una simplificación de la ley de los gases ideales, a una temperatura atmosférica estándar de 20°C.

$$P = 101.3 \left[\frac{293 - 0.0065 * Z}{293} \right]^{5.26} \quad \text{Ec. (2. 40)}$$

Donde:

P : presión atmosférica [kPa]

Z : elevación sobre el nivel del mar [m].

2.4.2.2 Método Thornthwaite y Wilm

Según (Thornthwaite, Wilm, & otros, 1944). La ecuación empírica para el cálculo de la evapotranspiración potencial mensual de una superficie de referencia cubierta de césped, con base en la temperatura media mensual. El método fue desarrollado utilizando lecturas de lisímetros y balances hídricos realizados en cuencas pequeñas de diferentes zonas de Estados Unidos. Thornthwaite asegura que su método no es preciso en zonas áridas pues

emplea la temperatura en lugar de la radiación neta, que tiene una relación física más directa con la evapotranspiración potencial.

La ecuación se presenta a continuación:

$$ETP = ETP_{sin.corr.} \left(\frac{N}{12}\right) \left(\frac{d}{30}\right) \quad Ec. (2. 41)$$

Donde:

ETP : Evapotranspiración potencial corregida

N : Número máximo de horas sol, dependiendo del mes y de la latitud
Anexo (tablaA.2)

d : número de días del mes

Se calcula la ETP mensual “sin corregir” mediante la fórmula:

$$ETP_{sin.corr.} = 16 \left(\frac{10 * t}{I}\right)^a \quad Ec. (2. 42)$$

Donde

ETP_{sin.corr.}: ETP mensual en mm para meses de 30 días y 12 horas de sol
(teóricas)

T : temperatura media mensual, °C

I : índice de calor anual, sumatoria de las (i)

$$a = 675 * 10^{-9} * I^3 - 771 * 10^{-7} * I^2 + 1792 * 10^{-5} * I + 0.49239 \quad Ec. (2. 43)$$

Se calcula el índice de calor anual (I) sumando los 12 valores de i:

$$I = \sum i \quad Ec. (2. 44)$$

Se calcula un índice de calor mensual “i” (°C). a partir de la temperatura media mensual (t)

$$i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1.514}$$

Ec. (2. 45)

2.4.2.2.3 Método de Hargreaves

Hargreaves desarrolló una fórmula empírica para la estimación de la evapotranspiración potencial del tanque clase A en latitudes medias del hemisferio norte. La ecuación propuesta es función de la temperatura, la humedad relativa y el coeficiente mensual de luz solar.

La ecuación propuesta por (Hargreaves *et al.*, 1985) y (Hargreaves & Samani, 1985). Puede ser escrita de la siguiente manera:

a) Por Temperatura

$$ETP = MF * TMF * CH * CE$$

Ec. (2. 46)

Donde:

ETP : Evapotranspiración potencial (mm/mes).

MF : Factor mensual de latitud anexo (Tabla A.3).

TMF : Temperatura media mensual (°F).

CH : Factor de corrección por la humedad relativa.

$$CH = 0.166(100 - HR)^{0.5}, \text{ para } HR > 64\%$$

Ec. (2. 47)

$$CH = 1, \text{ para } HR < 64\%$$

Ec. (2. 48)

HR : Humedad relativa media mensual (%).

CE : Factor de corrección por la altitud de la zona.

$$CE = 1.00 + \frac{(0.04 * E)}{2000}$$

Ec. (2. 49)

E : Altitud o elevación de la zona en estudio (msnm).

b) Por Radiación

$$ETP = 0.0075 * RSM * TMF * FA \quad \text{Ec. (2. 50)}$$

Donde:

ETP : Evapotranspiración potencial (mm/mes).

0.0075 : Constante de interrelación entre ETP y radiación.

RSM : Radiación solar equivalente en mm de evaporación mensual (mm/mes).

$$RSM = 0.075 * RMM * (S)^{0.5} \quad \text{Ec. (2. 51)}$$

RMM : Radiación extraterrestre equivalente en mm de evaporación mensual (mm/mes).

$$RMM = Ra * (DM) \quad \text{Ec. (2. 52)}$$

Ra: Radiación extraterrestre equivalente en mm de evaporación diaria (mm/día). Se obtiene de acuerdo a la latitud de la zona anexo (Tabla A.4).

DM : Número de días del mes.

S : Porcentaje de horas de insolación (%):

$$S = \left(\frac{n}{N} \right) * 100 \quad \text{Ec. (2. 53)}$$

n : Horas de sol media diaria de la zona.

N : Horas de sol máxima media diaria probable según la latitud anexo (Tabla A.2).

TMF : Temperatura media mensual (°F).

FA : Factor de corrección por altura.

$$FA = 1 + \frac{(0.06 * H)}{1000} \quad \text{Ec. (2. 54)}$$

H : Altitud de la zona en estudio (msnm).

2.4.2.2.4 Método de Oudin

La formulación simple de evapotranspiración potencial (ETP), basado en la temperatura sugerida por (Oudin et al., 2005). Basado en un estudio de desempeño de más de 25 formulaciones de ETP existentes cuando se utiliza como entrada para cuatro modelos hidrológicos diferentes para más de 300 cuencas ubicadas en Australia, Francia y Estados Unidos, es dada por:

$$PE = \left(\frac{R_e}{\lambda \rho_w} \right) \left(\frac{T_a}{100} \right) \quad \text{Ec. (2. 55)}$$

Si $T_a + 5 > 0$

$$PE = 0 \quad \text{Ec. (2. 56)}$$

Donde

R_e : es la radiación extraterrestre (J/m²/s) que es dependiente solamente de la latitud y el día juliano Anexo (Tabla A.8).

λ : es el flujo de calor latente (tomar como 2.45x10⁶ J/kg).

ρ_w : es la densidad de agua (tomar como 1000 kg/m³).

T_a : es la temperatura media diaria del aire (°C).

2.4.2.2.5 Método Blaney y Criddle

Según (Blaney & Criddle, 1960). Y (Criddle, 1966). Citan que el método de Blaney y Criddle fue desarrollado para condiciones áridas del oeste de los EE.UU. relacionando el agua consumida por las plantas con la temperatura y el

porcentaje mensual de las horas de brillo solar anual teóricamente posible para una latitud dada. Elías y Jiménez, (1965) anotan que la temperatura y las horas de insolación se consideran factores meteorológicos de gran influencia sobre la transpiración y desarrollo de las plantas.

Asimismo, (Pruit, 1960). Reporta haber encontrado una estrecha correlación ($r = 0.912$) entre la Evapotranspiración potencial medida en lisímetros y la ETP calculada basándose en la fórmula de Blaney y Criddle; para trébol ladino en zonas templadas.

(Doorembos & Pruit, 1977). Reportan la ecuación de Blaney y Criddle modificado por la FAO-24 de la siguiente manera:

$$ETP = a + b[P * (0.4572 * T + 8.128)] \quad \text{Ec. (2. 57)}$$

Donde:

ETP : Evapotranspiración potencial en mm/ día.

a y b : factores de calibración que están en función de la humedad relativa mínima diaria insolación y velocidad del viento durante el día.

P : Porcentaje medio diario del total anual de horas de insolación.

T : Temperatura media diaria en °C.

(Doorembos & Pruit, 1977). Hacen uso de la siguiente expresión para estimar el coeficiente de regresión “a”:

$$a = 0.0043 * (HR_{min}) - \frac{n}{N} - 1.41 \quad \text{Ec. (2. 58)}$$

(Febret et al., 1983). Encontró la siguiente ecuación que nos permite estimar el coeficiente de regresión “b”:

$$b = 0.81917 - 0.0040922(HR_{min}) + 1.0705 \left(\frac{n}{N}\right) + 0.065649(U_{dia}) - 0.0059684(HR_{min}) \left(\frac{n}{N}\right) - 0.0005967(HR_{min})(U_{dia})$$

Ec. (2. 59)

Donde:

U_{dia} : Velocidad de viento en m/seg. medida a 2m de altura.

HR_{min} : Humedad Relativa mínima en (%).

n/N : Proporción real máxima posible de horas de insolación.

2.4.2.2.6 Método de Turc

Según (Turc, 1961). Esta metodología permite calcular la evapotranspiración potencial en mm para cada mes en función de la temperatura, la radiación solar y la humedad relativa. Fue desarrollado en zonas húmedas de Europa pero fue ajustado para los casos en los que la humedad relativa es menor a 50%.

$$ETP_i = C_i K_i \left(\frac{t_i}{t_i + 15}\right) (R_i + 50)$$

Ec. (2. 60)

C_i : Es un factor de corrección para zonas áridas, que depende de la humedad relativa del mes.

Si la humedad relativa es mayor a 50%, el valor de C_i es igual a 1. En el caso contrario:

$$C_i = \left(\frac{1 + 50 - HR_i}{70}\right)$$

Ec. (2. 61)

Donde:

HR_i : Es la humedad relativa media mensual en porcentaje.

K_i : Es un factor de corrección mensual y sus valores son: 0.40 para meses de 30 y 31 días, 0.37 para febrero y 0.13 para períodos de 10 días.

T_i : Es la temperatura media mensual del aire expresada en °C.

R_i : Es la radiación global incidente o radiación de onda corta que alcanza la superficie de la tierra, expresada en cal/cm²día.

Su valor se obtiene por medio de la Ecuación 2.62, a partir de la radiación solar extraterrestre R_{tt} que se obtiene de anexo (Tabla A.6). y la insolación (n/N) que a su vez depende del brillo solar (n) y la duración del día (N).

$$R_i = R_{tt} \left(0.18 + 0.62 * \frac{n}{N} \right) \quad \text{Ec. (2. 62)}$$

2.4.2.2.7 Jensen y Haise (1963)

Según, (Jensen & Haise, 1963). Este método de Jensen Haise se basa en una ecuación, en la cual se ajusta la función entre la radiación solar y la temperatura para la localización y altura del sitio donde será usada mediante las funciones de la presión de vapor; este método es considerado como uno de los mejores para estimar la Evapotranspiración en regiones áridas y semiáridas.

La ecuación de Jensen – Haise para estimar ET es la siguiente:

$$ETP = C_T(T - T_X)R_s \quad \text{Ec. (2. 63)}$$

Donde:

(C_t) : es un coeficiente de temperatura del aire constante para un área dada, determinada a partir de las temperaturas máxima y mínima para el mes más cálido (T) es la temperatura media diaria del aire.

(T_x) : es una constante regional que representa la intercepción de la ecuación lineal con el eje de la temperatura,

(R_s) : es la radiación solar diaria expresada como lamina equivalente de evaporación.

Cuando existen mediciones de evapotranspiración en un área, (C_t) y (T_x) pueden ser determinados por calibración (graficando ET/R_s contra la temperatura media del aire).

Cuando esto no es posible, entonces (C_t) y (T_x) pueden ser estimados aplicando las siguientes ecuaciones generales:

$$C_t = \frac{1}{C_1 + C_2 * C_H} \quad \text{Ec. (2. 64)}$$

$$C_H = \frac{37.5mmHg}{e_2 - e_1} = \frac{50mb}{e_2 - e_1} \quad \text{Ec. (2. 65)}$$

$$C_t = 38 - \frac{2 * elevacion}{305} \quad \text{Ec. (2. 66)}$$

$$C_2 = 7.6^\circ c \text{ (constante)} \quad \text{Ec. (2. 67)}$$

C_H es un índice de humedad, C_1 es una constante de temperatura que depende de la elevación del lugar (en metros), e_2 es la presión del vapor a saturación en mm Hg o en milibares a la temperatura máxima promedio del aire durante el mes más caliente y e_1 es la presión del vapor a saturación a la temperatura mínima promedio del aire durante el mismo mes.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 DESCRIPCIÓN DE ÁMBITO DE ESTUDIO

3.1.1 UBICACIÓN DEL ÁMBITO DE ESTUDIO

3.1.1.1 Ubicación geográfica

La cuenca Huancané tiene la siguiente ubicación geográfica:

Coordenadas Geográficas:

Latitud Sur : 14° 31' 26" - 15° 23' 07"

Longitud Oeste: 70° 07' 06" - 69° 29' 12"

Coordenadas UTM (WGS84):

Este : 376 030 – 468 557

Norte : 8 301 965 – 8 397 410

Altitud entre : 3806 – 5100 msnm.

3.1.1.2 Ubicación hidrográfica

Hidrográficamente la cuenca del río Huancané se encuentra ubicada en:

Región hidrográfica : Titicaca

Sistema hídrico : TDPS

3.1.1.3 Ubicación política

La cuenca Huancané tiene la siguiente ubicación política:

Región : Puno

Provincias : Huancané, San Antonio de Putina, Moho y Azángaro.

Distritos : Huancané, Vilquechico, Huayrapata, Rosaspata, Cojata,

Potoni, Inchupalla, Huatasani, Quilcapunco, Putina, Muñani, Ananea.

3.1.1.4 Ubicación administrativa

La cuenca la Huancané se enmarca dentro del ámbito jurisdiccional de la Administración Local del Agua Huancané, cuya dependencia técnica, funcional y administrativa es de la Autoridad Nacional del Agua (ANA) con sede en la ciudad de Lima. La sede administrativa se encuentra ubicado en la ciudad de Huancané, del distrito y provincia de Huancané, región Puno.

La cuenca Huancané tiene una dependencia administrativa del Ministerio de Agricultura, así mismo depende del Instituto Nacional de Recursos Naturales a través de la Intendencia de Recursos Hídricos del INRENA, y de la Dirección Regional Agraria de Puno.

3.1.1.5 Vías de comunicación y acceso

La ciudad de Huancané es el centro urbano más relevante de la cuenca Huancané, las vías de acceso en una unidad móvil desde la ciudad de Huancané hacia cualquier lugar de la cuenca es accesible.

Las principales vías de acceso a la cuenca Huancané, es la siguiente:

Tabla 3. Vías de acceso.

N°	TRAMO	DISTANCIA	TIEMPO	VIA
		(Km)	(Min)	
1	Puno – Juliaca	45	40	Asfaltada
2	Juliaca – Huancané	63	60	Asfaltada
3	Huancané – Huatasani	17	20	Asfaltada
4	Huatasani – Inchupalla	21	25	Trocha
5	Inchupalla - Quilcapunco	24	30	Trocha
6	Huatasani – Putina	19	25	Asfaltada
7	Putina – Muñani	22	25	Trocha

Fuente: Evaluación de recursos hídricos, cuenca Huancané ANA 2010

3.1.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DE CUENCA

La cuenca hidrográfica del río Huancané, tiene una extensión aproximada de 3599.64 km², desde la partición de agua hasta la desembocadura en el lago Titicaca, presenta una forma más o menos “alargada”, (Figura 5).

La longitud del cauce principal es aproximadamente de 142 km y tiene una pendiente media de 0.70%.

La cuenca Huancané cuenta actualmente con tres estaciones meteorológicas dentro de la cuenca ubicadas en Muñani, Putina y Huancané así mismo consideramos cuatro estaciones meteorológicas cercanas a la cuenca que están ubicadas en Ananea, Cojata, Azangaro y Huaraya Moho y una Estación Hidrométrica en el Puente Huancané todas ellas administradas por SENAMHI – Puno, de los cuales obtuvimos datos para la presente investigación.

3.1.3 DESCRIPCIÓN CLIMÁTICA DE LA CUENCA DE HUANCANÉ

3.1.3.1 Precipitación

La precipitación anual de la cuenca del río Huancané, varía de 420 mm a 870 mm, los valores altos se registraron en el entorno del lago Titicaca, en la parte baja y norte de la cuenca; y los valores menores se registraron en el sur de la cuenca.

3.1.3.2 Temperatura

La temperatura media de la cuenca varía entre 3.0 °C a 8.0 °C, las temperaturas máximas alcanza hasta 23.4 °C y las mínimas alcanzan valores

hasta $-10.2\text{ }^{\circ}\text{C}$, así mismo las regiones más cálidas se encuentran en las zonas de las estaciones Muñani y Putina.

3.1.3.3 Humedad relativa

En base a la información histórica disponible de las estaciones meteorológicas, la distribución espacial de la humedad relativa en la cuenca del río Huancané varía entre 23% y 96%.

3.1.3.4 Velocidad del viento

La velocidad del viento de la cuenca del río Huancané varía entre 2 y 11 m/s.

3.1.3.5 Horas sol

Para la cuenca en estudio las horas de sol varía entre 0.5 horas a 12 horas, los mayores valores se registraron en la parte baja y los valores menores en la parte alta de la cuenca.

3.1.3.6 Evaporación

La distribución espacial de la evaporación total anual de la cuenca Huancané, varía entre 1560 mm hasta 1900 mm por año, estos datos generalmente son obtenidos del tanque tipo A.

3.2 MATERIALES

3.2.1 INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA

Para el presente trabajo de investigación se han utilizado cartas nacionales que abarcan la cuenca Huancané, se utilizaron las siguientes hojas de la carta nacional:

30v, 30x, 30y, 31v, 31x, 31y, a escala 1:100,000; elaborados por el Instituto Geográfico Nacional (IGN), las cuales fueron digitalizadas bajo el entorno de SIG con equidistancia mínima entre curvas de nivel de 100 m.

Así mismo planos en formato shp elaborados por la autoridad nacional del agua (ANA).

3.2.2 INFORMACIÓN METEOROLÓGICA

La información meteorológica se obtuvo del Servicio Nacional de Meteorología (SENAMHI), se utilizó registros de precipitación mensual, temperatura máxima, temperatura media, temperatura mínima, humedad relativa, velocidad de viento y caudal (el periodo de estos datos es desde los años 1964 al 2016). Horas sol solo se trabajó con datos del año 1990 al 2016 porque la cuenca solo cuenta con estos datos desde el año 1990 (solo cuatro estaciones) y evaporación el periodo de registro es del año 2002 al 2011, (falta de adquisición de información). las estaciones que se tomaron en cuenta son: Ananea, Azángaro, Cojata, Huancané, Huaraya Moho, Muñani, Putina y Puente Huancané.

3.2.3 EQUIPOS Y MATERIALES PARA EL PROCESAMIENTO

Los equipos y materiales utilizados en el procesamiento e impresión son:

Materiales de escritorio:

- Papel bond A4, A3,
- Memoria USB 16 GB
- Tinta de Impresora
- Materiales de escritorio (lapiceros, borrador, marcadores, entre otros)

Materiales y equipos de campo:

- Cartas nacionales
- Cámara fotográfica digital
- GPS Garmin
- Bincha de 5m
- Imagen raster

Materiales y equipos de gabinete:

- Computadora coreI7, RAM 4 GB, velocidad 2.60 GHz, 1000 GB memoria.
- Impresora multifuncional Epson L220 sistema continuo.
- Plotter
- Fotografías Digitalizadas
- Bibliografía necesaria

Softwares utilizados:

- Arc Gis 9.3
- Hydraccess v 4.5
- Microsoft Office Word 2013

- Microsoft Office Excel 2013
- Programa estadísticos SPSS 23.0

3.3 METODOLOGIA

La metodología empleada en el presente trabajo de investigación es la siguiente:

3.3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

El presente trabajo de investigación está referido a una investigación DESCRIPTIVA – COMPARATIVA, se considera **Descriptiva – comparativa** dado que se compara la ETP estimada con los métodos empíricos (FAO 56 Penman Monteith, Hargreaves – Samani 1985, Thornthwaite y Wilm, Oudin, Blaney y Criddle, Jensen y Haise, Turc y tanque de evaporación clase A), analices del comportamiento y su influencia en el estudio hidrológico de la cuenca Huancané de los métodos empíricos de ETP.

3.3.2 VARIABLES

Variable Dependiente

Modelos de GR2M en función de elementos climáticos.

Variable Independiente:

Estimación de la evapotranspiración potencial por diferentes métodos (ETP).

3.3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.3.3.1 Población

Para el presente trabajo de investigación se consideró como población al total de datos meteorológicos de la cuenca de la Huancané correspondiente a siete estaciones meteorológicas dentro y cercanas a la cuenca.

3.3.3.2 Muestra

Para el presente trabajo de investigación se consideró como muestra el conjunto de datos recopilados de cada estación. Estos datos son considerados como muestreo aleatorio. Los datos recopilados son registros meteorológicos de 53 años consistentes en: (temperatura mínima, temperatura media, temperatura máxima, Humedad relativa, Horas sol, velocidad de viento, evaporación de tanque clase A y caudal), estos datos se procesaron a nivel mensual comprendidos desde enero 1964 a diciembre del 2016.

3.3.3.3 Técnicas

La técnica a emplear viene a ser la comparación del resultado de la simulación hidrológica con diferentes métodos empíricos la evapotranspiración potencial. Utilizando modelo hidrológico GR2M.

3.3.4 ANÁLISIS DE LOS DATOS DE INFORMACIÓN CLIMÁTICA

Para el presente trabajo de investigación, el tratamiento de la información climática se realizó con la finalidad de analizar y evaluar los registros de

precipitación mensual, temperatura máxima, temperatura media, humedad relativa, horas sol, evaporación y caudales disponibles.

3.3.4.1 Estimación de datos faltantes

Método de los promedios

El método de promedio de estaciones vecinales se utilizó para la completación de datos menores a un año la ecuación es la siguiente:

$$PX = \sum_{i=1}^n \frac{P_i}{n} \quad \text{Ec. (3. 1)}$$

Donde:

P_i : Precipitación de la estación i en el período de estudio;

n : Número total de estaciones.

Este método, es básicamente una estimación que resulta del cálculo de un promedio aritmético en la n estaciones vecinas existentes.

3.3.4.2 Método del vector regional

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

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

estación sobre el período de trabajo y calcula los índices anuales de cada estación en una determinada cuenca o área de estudio.

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

El método del vector regional consiste en elaborar, a partir de la información disponible, una especie de estación ficticia que sea representativa de toda la zona de estudio. Para cada estación se calcula un promedio extendido sobre todo el período de estudio, y para cada año, se calcula un índice. A esta serie de índices anuales se le llama Vector Regional, ya que toma en cuenta la información de una cuenca o área de estudio que se supone es climáticamente homogénea.

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

- Evaluar la calidad de los datos de una estación por curvas de dobles acumuladas con los índices del vector regional.
- Analizar gráficamente y correlacionar los datos de una estación con los índices del vector regional.
- Evaluar los datos faltantes de una estación multiplicando el índice de un año del vector regional por el promedio extendido de la estación sobre el período de estudio.

Brunet Moret

Brunet-Moret (1979) considero que una zona climática puede estar representada por un vector cuya esperanza matemática es igual a 1. La ecuación $A=B+E$ se puede escribir:

$$\frac{X_{ij}}{X_{mj}} = Z_1 + e_{ij} \quad \text{Ec. (3. 2)}$$

Donde:

X_{ij} : es el total anual de la estación j para el año i

X_{mj} : es la media de las X_{ij}

Z_1 : es el componente del vector del año i

e_{ij} : es la fluctuación aleatoria del año i de la estación j , la esperanza matemática de e_j es igual a 0.

La matriz A (n,m) se compone de las precipitaciones de m estaciones durante n años, es en la mayoría de los casos incompleta con el fin de determinar cada X_{mj} y Z_1 el algoritmo de cálculo consiste en minimizar la ecuación:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left(\frac{X_{ij}}{X_j - Z_i} \right)^2 \quad \text{Ec. (3. 3)}$$

3.3.4.3 Análisis de consistencia

Para el presente trabajo de investigación utilice el software Hydraccess versión 4.5, desarrollado por Philippe VAUCHEL, Hidrólogo del IRD (Instituto de investigación para el desarrollo) el cual tiene incluido un módulo para el cálculo del vector regional por el método de Y. Brunet Moret. El software Hydraccess nos permite calcular el Vector Regional a paso de tiempo mensual y anual (análisis y corrección). Igualmente nos permite detectar, corregir o eliminar los errores sistemáticos de series cronológicas estudiadas (fase de

homogenización) luego de buscar las zonas climáticas homogéneas (fase de regionalización) para las cuales se genera una serie cronológica representativa de índices mensuales y anuales.

Para calcular el vector se realizó las siguientes consideraciones:

- Para el cálculo del vector regional debemos tener como mínimo 3 estaciones por año, y 3 años como mínimo por estación, por lo tanto debemos verificar esta condición y de ser necesario calcularemos los datos faltantes con los registros de las estaciones más confiables y con registros más largos, por correlación en este estudio se cumplió con esta consideración.
- La hipótesis principal de este método es el principio de “pseudo-proporcionalidad”, por lo cual los datos deben tener el mismo comportamiento (cantidad y variación temporal), es decir deben tener una tendencia climática regional única.
- La pseudos-proporcionalidad de una zona es medida por el valor del coeficiente de correlación media entre las estaciones y el vector correspondiente (en caso de estricta proporcionalidad este valor es igual a 1). Este coeficiente en el software Hydraccess aparece como “Correl./Vector”.

3.3.4.4 Extensión del registro

En el presente trabajo de investigación no se realizó la extensión anual de datos, por el hecho que contamos con datos completos desde el año 1964 hasta el año 2016 en caso de precipitación mensual. En otros datos climáticos se utilizó con las que cuenta las estaciones climáticas de la cuenca.

3.3.5 MÉTODOS DE INTERPOLACIÓN PARA DETERMINAR VALORES

MEDIOS DE LA CUENCA

Para determinar valores medios de la cuenca de Huancané se utilizaron los interpoladores que tiene incluido el software Hydraccess tres de ellos determinísticos que son; (Media Aritmética, Polígonos de Thiessen y IDW) y otro estadístico como lo es Kriging.

En este trabajo se tomó promedio de los cuatro métodos como dato resultante de valores medios de la cuenca.

3.3.5.1 Media aritmética

Este método consiste en obtener el promedio aritmético de las alturas de precipitación registradas en cada estación. Este método nos da buenos resultados si tenemos una red de pluviómetros bien repartidos, si el relieve de la cuenca es homogéneo y la variación de las medidas pluviométricas entre estaciones es pequeña.

Este método es particularmente mal adaptado a las zonas montañosas donde existe un fuerte gradiente altitudinal y donde los pluviómetros se ubican principalmente en los valles y no sobre las altas montañas de la cuenca.

Según el Método Aritmético, la Precipitación media se calcula aplicando la siguiente expresión:

$$P = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n} \quad \text{Ec. (3. 4)}$$

Donde:

P_i : es la precipitación puntual en la estación *i*

n : el número de estaciones dentro de los límites de la cuenca en estudio.

3.3.5.2 Polígonos de Thiessen

El método del polígono de Thiessen es equivalente al método del vecino más cercano; todos los puntos dentro del polígono tienen el mismo valor del punto con datos desde el cual se genera el polígono. El uso de este método es conveniente cuando la red pluviométrica no es homogénea (pluviómetros distribuidos irregularmente).

Según (Webster & Oliver, 2007). Este método es uno de los más fáciles y simples, pero las limitaciones del método son evidentes; cada predicción se basa en sólo una medida, no hay ninguna estimación del error y la información de los puntos vecinos se ignora.

3.3.5.3 IDW (la inversa del cuadrado de la distancia)

Según (Tveito & Schöner, 2002). IDW es un método avanzado de la técnica del vecino más próximo que utiliza la distancia de los puntos con datos hacia el punto desconocido, asignando un peso a los diferentes puntos con datos. Este método asume que cada punto posee una influencia local que disminuye con la distancia; de esta manera, el método pondera con mayor fuerza a los puntos con datos cercanos al punto de valor desconocido y con menor intensidad sobre aquellos ubicados a mayor distancia.

3.3.5.4 Kriging.

Kriging es un procedimiento geo estadístico avanzado que genera una superficie estimada a partir de un conjunto de puntos dispersados con valores

x. A diferencia de otros métodos de interpolación en el conjunto de herramientas de Interpolación.

3.3.6 CALIBRACIÓN DEL MODELO HIDROLÓGICO GR2M

Para la calibración del modelo se utilizó el programa Solver, incorporado dentro del programa Excel. Los parámetros X_1 , X_2 y la eficiencia de Nash.

Los datos esenciales para nuestra cuenca, abarca 3599.65 km², con un periodo de calibración de 424 meses que corresponde del año 1964 al año 1999 para los métodos de ETP. Thornthwaite y Wilm, Hargreaves en base a Temperatura, Oudin y Blaney y Criddle. Igualmente con un periodo de calibración de 204 meses que corresponde del año 1990 al año 2007 para los métodos Penman Monteith, Hargreaves en base a Radiación solar, Turc y Jensen - Haise.

Finalmente para el método del Tanque Clase "A" la calibración se realizó con un periodo de 120 meses que corresponden del 2002 al año 2011.

3.3.7 VALIDACIÓN DEL MODELO HIDROLÓGICO GR2M

Para la validación del modelo, usamos los parámetros determinados en la calibración (X_1 y X_2), con 1/3 de la data posterior al periodo de calibración es decir el periodo de validación se realizara con un total de 1/3 de la data total, como se muestra en el Tabla 4; esto nos va a permitir validar la utilización del modelo GR2M en la cuenca Huancané. Que comprende del año 2000 al año 2016 con un total de 212 meses para los métodos de ETP. Thornthwaite y Wilm, Hargreaves Temperatura, Oudin y Blaney y Criddle.

Tabla 4. Periodos de calibración y validación.

2 / 3 (calibración)														1 / 3 (validación)												
ene-64	ene-66	ene-68	ene-70	ene-72	ene-74	ene-76	ene-78	ene-80	ene-82	ene-84	ene-86	ene-88	ene-90	ene-92	ene-94	ene-96	ene-99	ene-00	ene-02	ene-04	ene-06	ene-08	ene-10	ene-12	ene-14	ene-16

Fuente: Elaboración propia.

Igualmente usamos los parámetros (X_1 y X_2) determinados en la calibración para los métodos de ETP. Penman Monteith, Hargreaves en base a Radiación solar, Turc y Jensen – Haise. Donde se aprecia en la Tabla 5. La validación corresponde a 1/3 de la data total de estudio el cual representa del año 2008 al año 2016.

Tabla 5. Periodos de calibración y validación.

2 / 3 (calibración)														1 / 3 (validación)												
ene-90	ene-91	ene-92	ene-93	ene-94	ene-95	ene-96	ene-97	ene-98	ene-99	ene-00	ene-01	ene-02	ene-03	ene-04	ene-05	ene-06	ene-07	ene-08	ene-09	ene-10	ene-11	ene-12	ene-13	ene-14	ene-15	ene-16

Fuente: Elaboración propia.

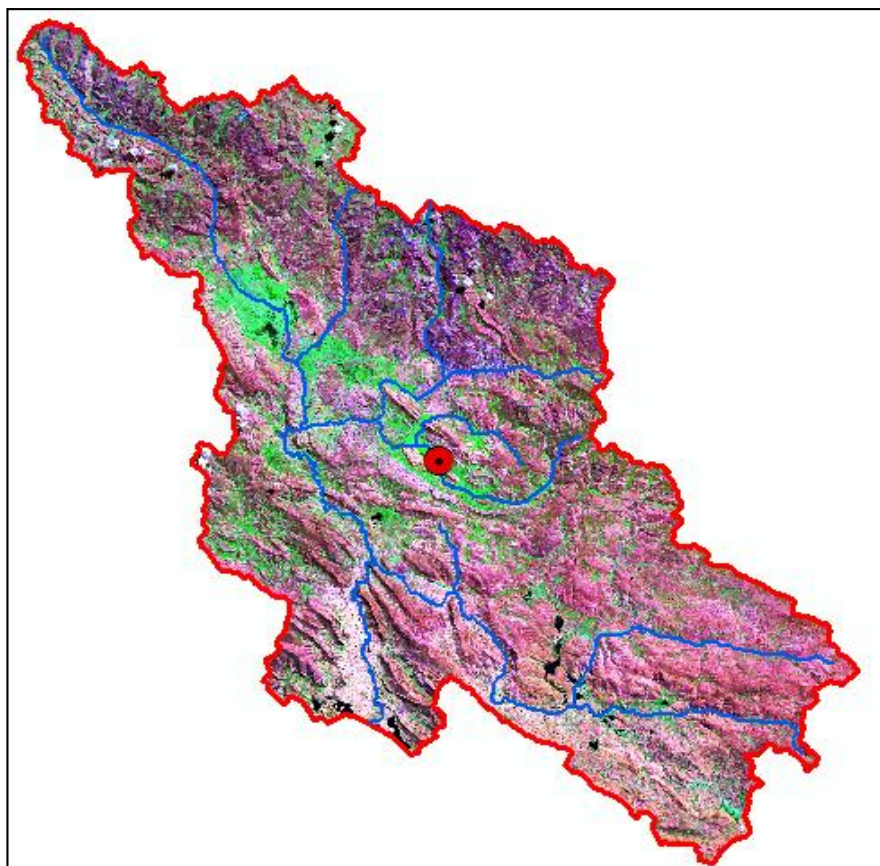
Para el método de ETP. Del Tanque Clase “A” la validación no se realizó por contar con pocos datos de evaporación en la cuenca Huancané los cuales solo se utilizaron para la etapa de calibración.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 DELIMITACIÓN HIDROGRÁFICA DE LA CUENCA

La delimitación hidrográfica de la cuenca Huancané se realizó en el software Arcgis 10.3 el cual se muestra en la figura.

Figura 5. Cuenca Huancané Delimitado.



Fuente: Elaboración propia.

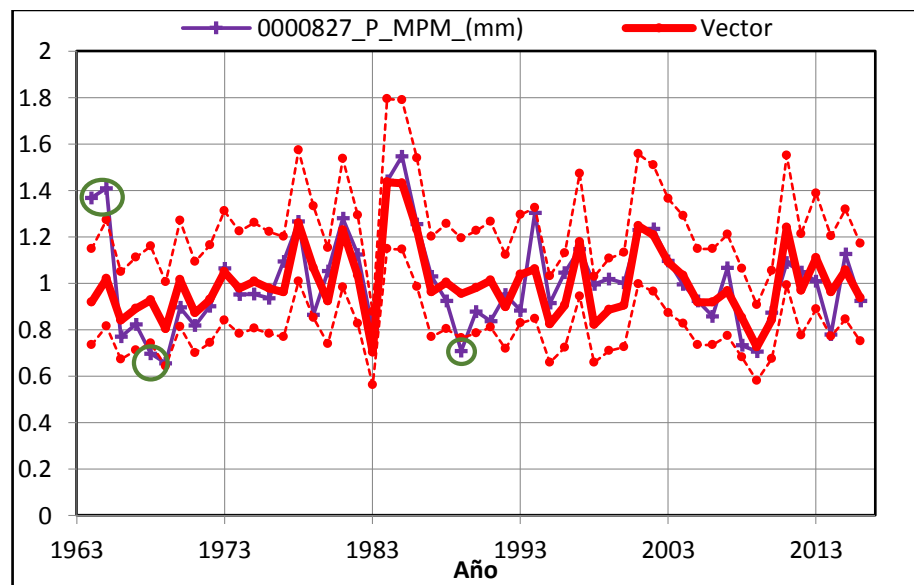
4.2 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN METEOROLÓGICA

Para el análisis de datos climáticos se realizó el método de vector regional que está incluido en el software Hydraccess que trabaja con ecuación patrón de Brunet Moret.

4.2.1 ANÁLISIS DE DATOS ATÍPICOS ESTACIONES

Análisis de datos anuales de precipitación mensual de la estación Ananea y Azángaro en estas dos estaciones para la precipitación media mensual no hubo datos atípicos una vez aplicado el vector regional. Y para el caso de la estación Cojata podemos observar en la figura 6, en los años 64, 65, 68 y 89 donde ligeramente se sale del vector y no tiene el misma orientación ni comportamiento al igual que las otras estaciones por lo tanto estos datos lo sustituimos por los datos generados por el vector regional que está incluido en el software Hydraccess.

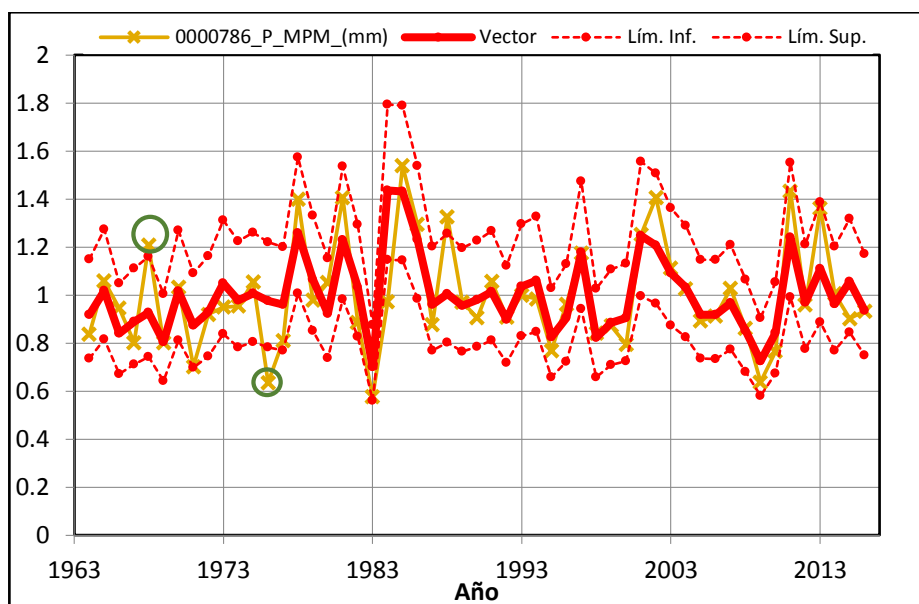
Figura 6. Análisis anual de datos mensuales de estación Cojata.



Fuente: Elaboración propia.

Así mismo para la estación Huancané se tienen datos atípicos anuales de precipitación media mensual que se salieron del Vector en el año 68 donde el dato se mantiene ya que el dato tiene el mismo comportamiento que las otras estaciones y en el año 76 el dato se cambió por el dato calculado por el software Hydraccess.

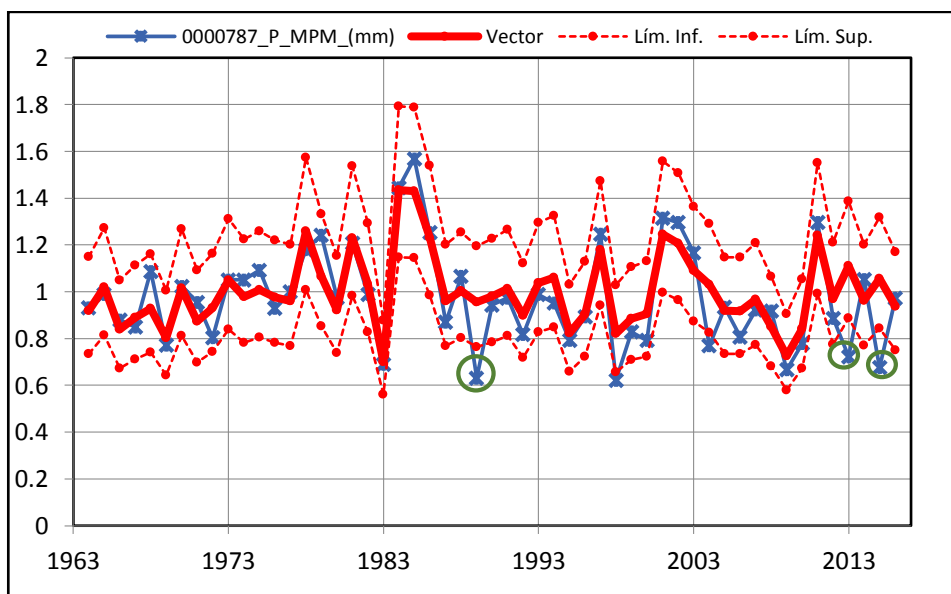
Figura 7. Análisis anual de datos mensuales de estación Huancané.



Fuente: Elaboración propia.

Seguidamente como vemos en la figura 8, el análisis de datos anuales de precipitación mensual de la estación Huaraya Moho donde se observa en los años 89, 13 y 15 ligeramente se salen del vector regional donde lo cambiamos los datos con los datos calculados por el software Hydraccess.

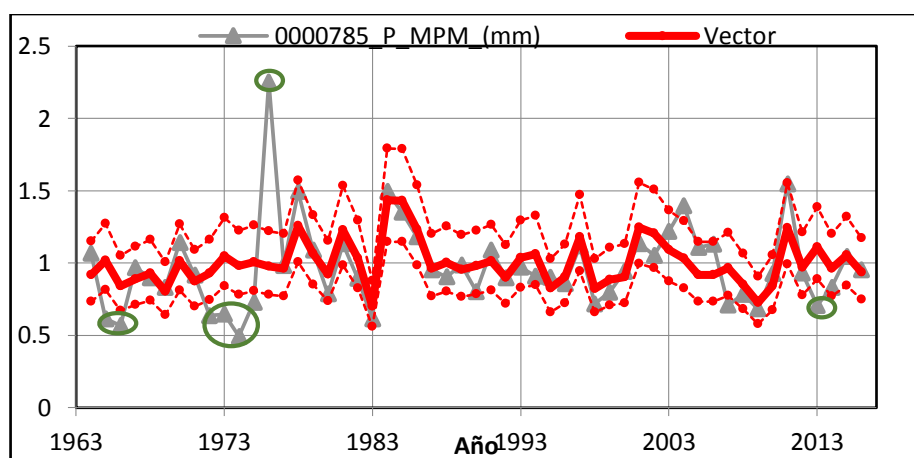
Figura 8. Análisis anual de datos mensuales de estación Huaraya Moho



Fuente: Elaboración propia.

De igual forma en la figura 9, en la estación Muñani se puede observar datos atípicos en los años 65, 66 y 13 donde se salieron levemente del vector los cuales han sido reemplazados por los datos que sean calculados por el software Hydraccess, y el dato más incoherente como se puede observar en la figura es el año 76 el cual también ha sido reemplazado por los datos calculados.

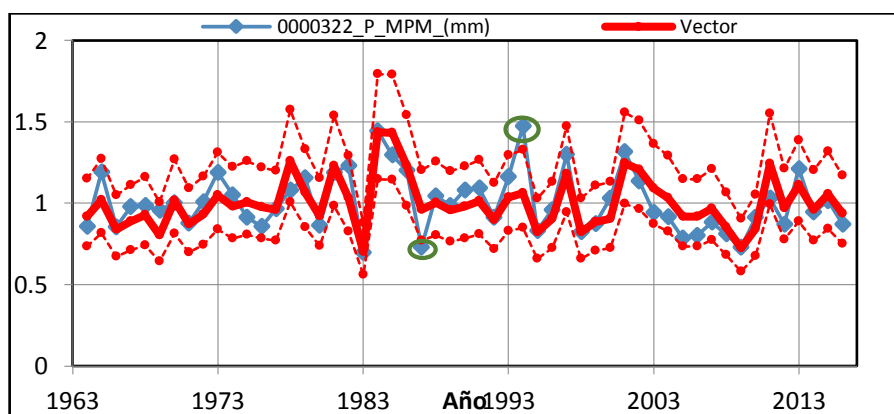
Figura 9. Análisis anual de datos mensuales de estación Muñani.



Fuente: Elaboración propia.

Finalmente analizamos la estación San Antonio de Putina como se observa en la figura 10, solamente el año 94 ha sido reemplazado por los datos calculados por el software Hydraccess en otro dato atípico lo hemos mantenido porque tiene la misma dirección que las otras estaciones.

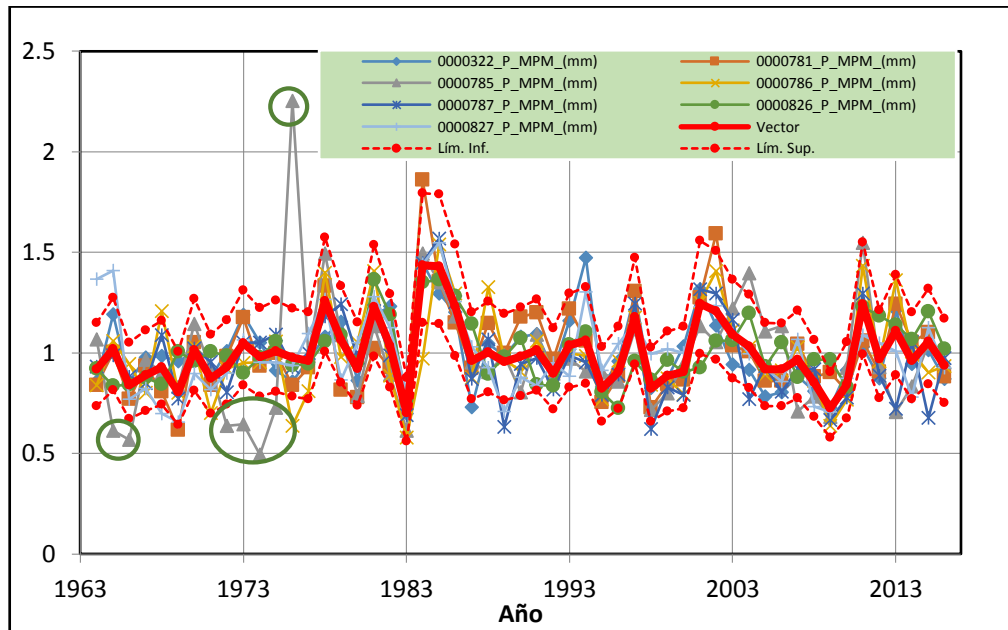
Figura 10. Análisis anual de datos mensuales de estación Putina.



Fuente: Elaboración propia.

Podemos observar en el gráfico tenemos un resumen de todos los datos anuales de precipitación mensual antes del análisis de datos.

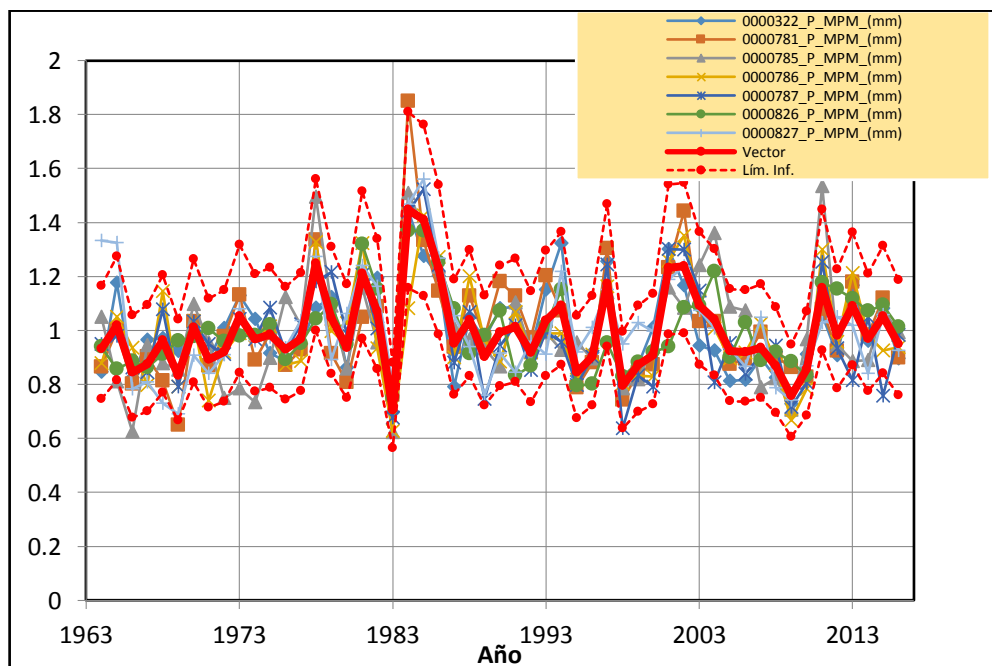
Figura 11. Análisis de datos mensuales de precipitación sin corregir.



Fuente: Elaboración propia.

Finalmente tenemos en la figura 12, los datos anuales de precipitación mensual para las siete estaciones Analizados con el software Hydraccess.

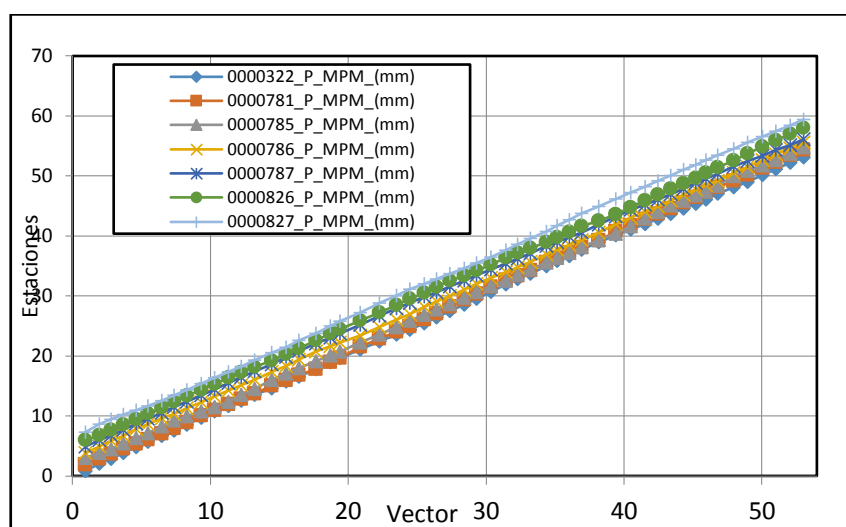
Figura 12. Análisis de datos mensuales precipitación.



Fuente: Elaboración propia.

Así mismo en la figura podemos observar el análisis de doble masa (precipitación acumulada) de las siete estaciones utilizado para el trabajo de investigación que está incluido dentro del software de Hydraccess, en donde se aprecia que las estaciones son homogéneas y las pendientes no varían en su trayectoria.

Figura 13. Suma de los índices anuales del Vector y de las Estaciones



Fuente: Elaboración propia.

De igual forma tenemos la correlación de las estaciones con el vector en el cual tienen una buena correlación como se puede apreciar en la tabla 6, donde las estaciones Putina, Azangaro, Muñani, Huancané y Huaraya Moho son mayores a 85% y las estaciones que tienen una elevación mayores a cuatro mil metros tienen una correlación un poco bajas las estaciones de Ananea y Cojata.

Tabla 6. Correlación / vector de las estaciones climáticas.

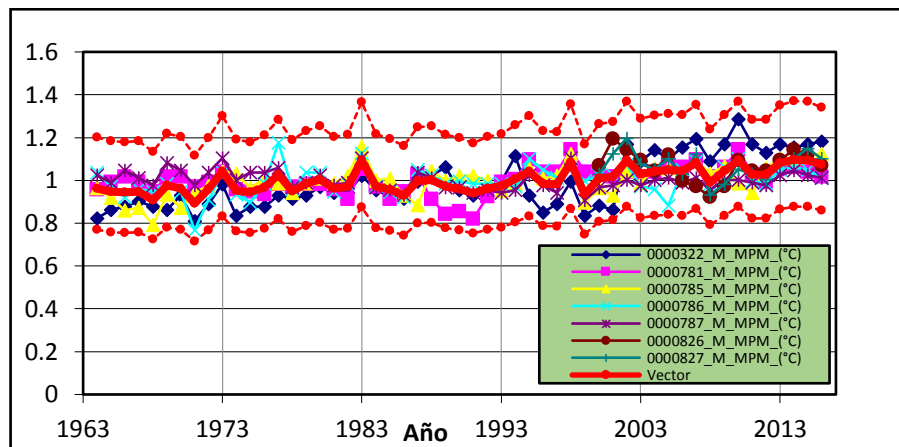
Nombre de Estación	Id Estación	D.E. Desvíos	Correl. /Vector
PUTINA	0000322_P_MPM_(mm)	0.084	0.855
AZANGARO	0000781_P_MPM_(mm)	0.101	0.878
MUÑANI	0000785_P_MPM_(mm)	0.134	0.758
HUANCANE	0000786_P_MPM_(mm)	0.091	0.855
HUARAYA MOHO	0000787_P_MPM_(mm)	0.093	0.876
ANANEA	0000826_P_MPM_(mm)	0.098	0.77
COJATA	0000827_P_MPM_(mm)	0.114	0.789

Fuente: Elaboración propia.

Temperaturas:

De la misma forma que se analizaron los datos de precipitación se analizó para los datos de temperatura media mensual en donde observamos que no hay datos que se salen de los límites del vector el cual nos confirma que los datos pertenecen a la misma zona de todas las estaciones.

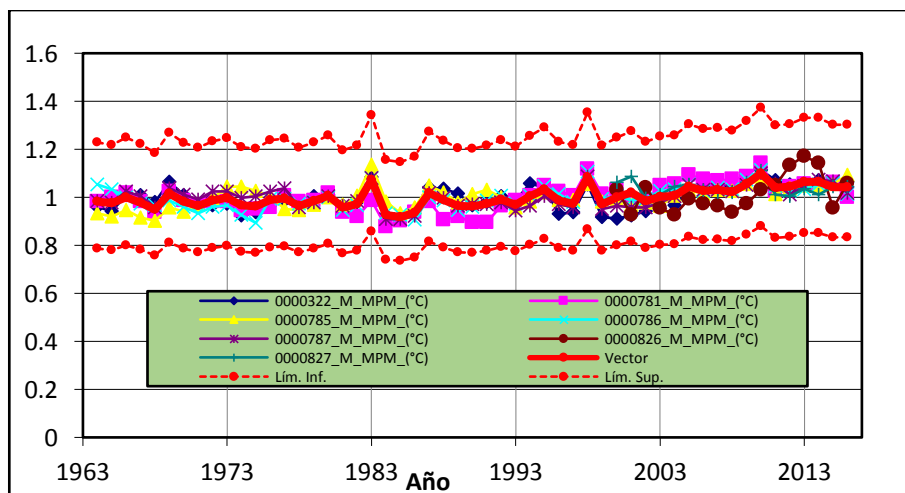
Figura 14. Análisis de datos mensuales de temperatura media.



Fuente: Elaboración propia.

Igualmente se puede apreciar en la figura15, para los datos de temperatura máxima en donde se observa que no hay datos que se salen de los límites del vector de las siete estaciones. Los cuales indican que los datos pertenecen a la misma zona o cuenca.

Figura 15. Análisis de datos de temperatura máxima.

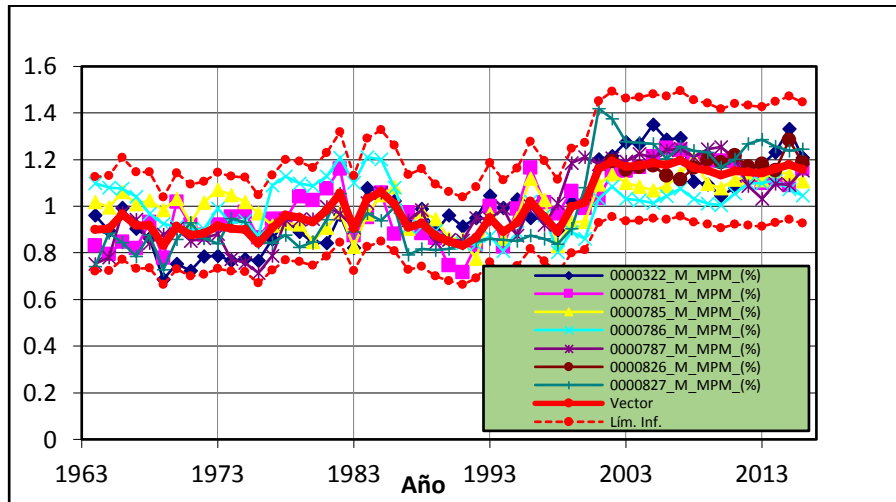


Fuente: Elaboración propia.

Humedad Relativa

Análisis de datos anuales para los datos de las siete estaciones de la Humedad Relativa se analizaron como se puede observar en la figura16, donde no se salió ningún dato de los límites del vector.

Figura 16. Análisis mensuales de datos de humedad relativa.

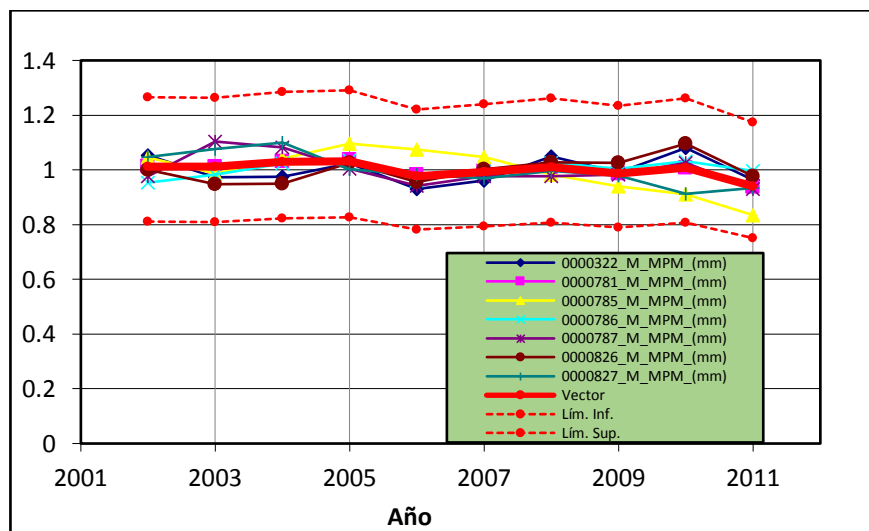


Fuente: Elaboración propia.

Evaporación:

El Análisis de datos anuales de Evaporación mensual de las siete estaciones igualmente se puede apreciar en la figura 17, no se salen los datos de los límites del vector regional lo cual indica datos muy representativos.

Figura 17. Análisis mensuales de datos de evaporación.

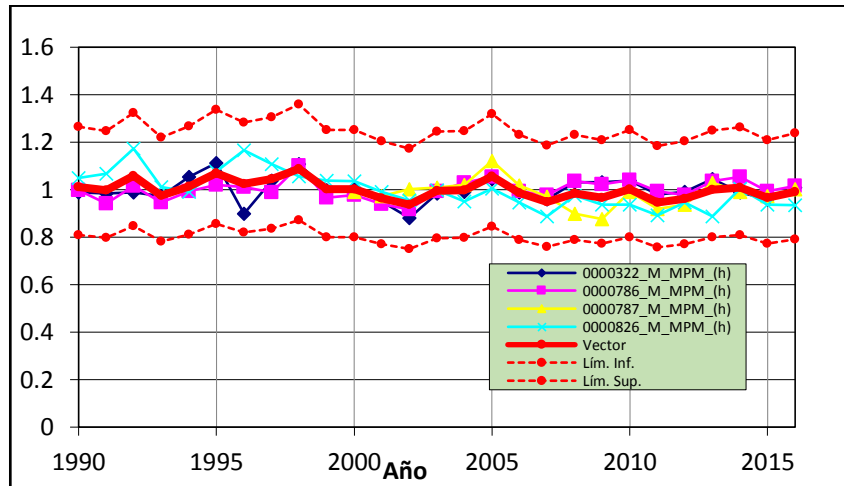


Fuente: Elaboración propia.

Horas sol media:

El Análisis de datos anuales de horas sol media mensual de las cuadro estaciones igualmente se puede apreciar en la figura 18, no se salen los datos de los límites del vector regional lo cual indica datos muy representativos.

Figura 18. Análisis de datos mensuales de horas sol.

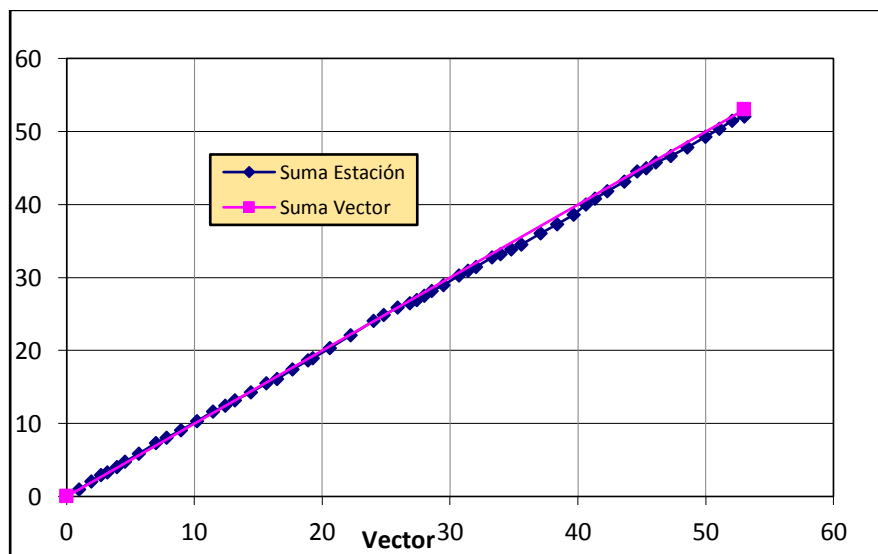


Fuente: Elaboración propia.

Análisis de datos de caudales

Para el periodo de datos de descargas, según la Figura 13, de doble masas se aprecia una tendencia lineal del coeficiente de determinación R^2 , el cual toma un valor representativo de 0.87 y no se aprecia quiebres significativos.

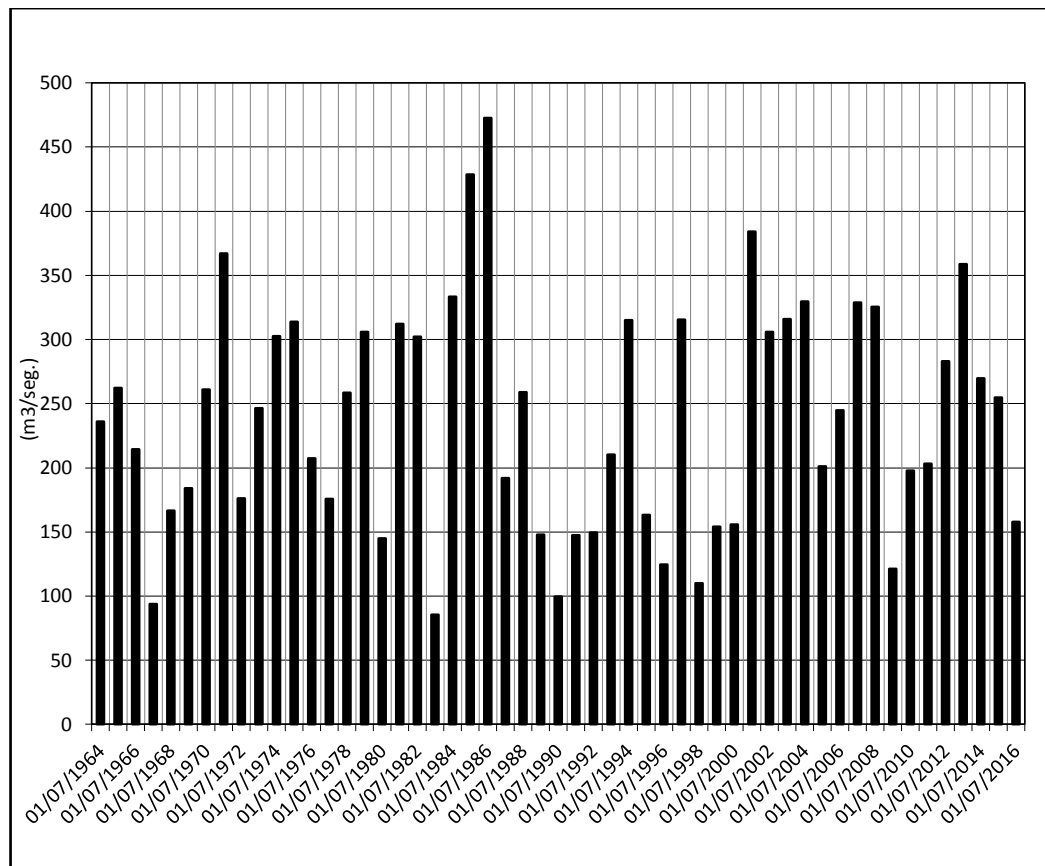
Figura 19. Vector y de la Estación: Puente Huancané ($m^3/seg.$)



Fuente: Elaboración propia.

Así mismo el hidrograma de caudales históricos se aprecia en el grafico 20, que los años más lluviosos representan a los años 85 y 86 y los caudales más bajos al años 67, 84, 98 y el año 2009.

Figura 20. Estación: Puente (Huancané) Caudales Anuales.

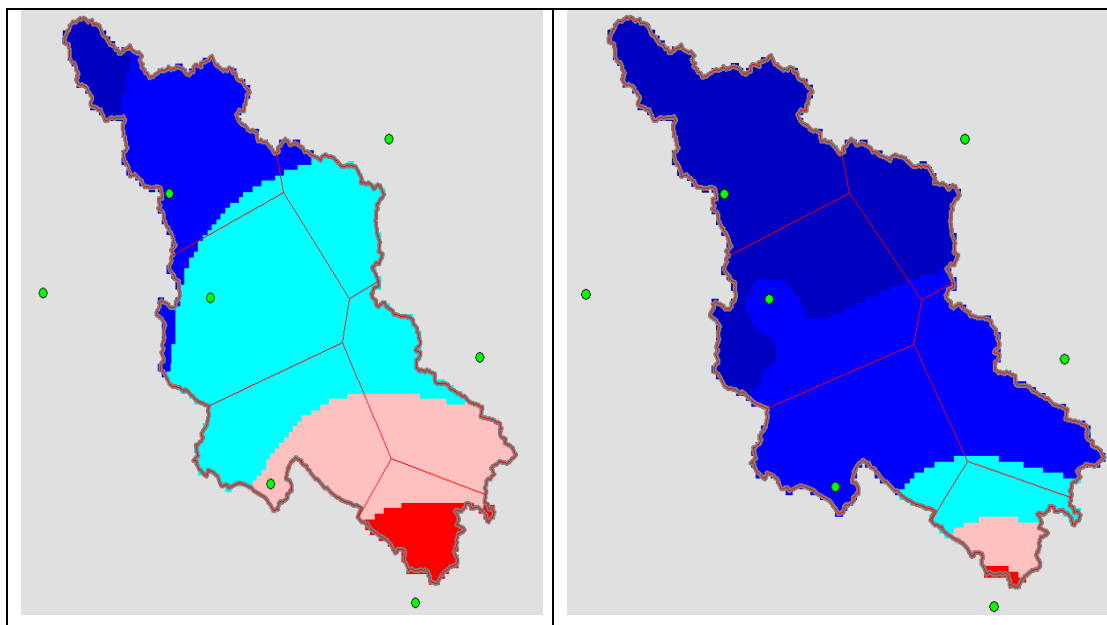


Fuente: Elaboración propia.

4.2.2 DETERMINACIÓN DE VALORES MEDIOS DE LA CUENCA

Para determinar los valores medios de la cuenca se utilizó en software Hydraccess que tiene incluido dentro del software los métodos de media aritmética, polígonos de Thiessen, IDW y Kriging. Se tomó los valores medios para la cuenca el promedio de los cuatro métodos ya mencionados podemos observar la operación realizada en la figura 21.

Figura 21. Determinación de valores medios de la cuenca con software HYDRACCES



Fuente: Elaboración propia.

4.3 ESTIMACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL

Con la información climatológica disponible en las estaciones en la cuenca y cercanas a la cuenca Huancané, se ha calculado la evapotranspiración potencial empleando las fórmulas de Hargreaves (Temperatura y Radiación), Blaney y Criddle, Thornthwaite, Jensen y Haise, Oudin, Penman Monteith – FAO, Turc y Tanque clase “A”.

Por otro lado también, se ha calculado la ETP utilizando la evaporación del Tanque Clase A. se ha utilizado el coeficiente de tanque (k) igual a 0.75 para los meses de enero a diciembre (ver Tabla 2) para una velocidad del viento variable de 190.1-328.3 km/día y humedad relativa de 54-71%.asi mismo se observa en la tabla 7, la evapotranspiración potencial para la cuenca Huancané calculado por los diferentes métodos.

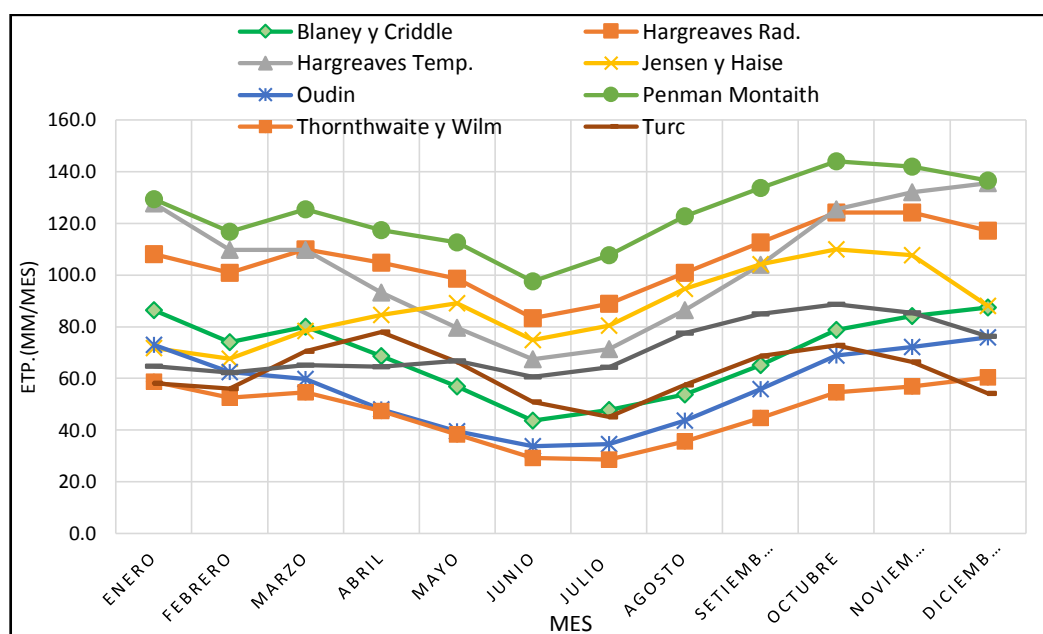
Tabla 7. Resultados de evapotranspiración potencial mensual para la cuenca Huancané.

EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL MENSUAL (mm/mes:) DE LA CUENCA HUANCANE									
MES	Blaney y Criddle	Hargreave Radiación	Hargreaves Temperatura	Jensen y Haise	Oudin	Penman Montaith	Thornthwaite y Wilm	Turc	Tanque Clase A
Enero	86.4	108.0	127.6	71.7	72.9	129.3	58.8	58.0	64.8
Febrero	74.1	100.9	109.7	67.6	62.5	116.7	52.5	56.1	62.3
Marzo	80.1	109.9	109.7	78.4	59.8	125.4	54.6	70.6	65.1
Abril	68.7	104.8	93.3	84.6	48.0	117.4	47.5	77.9	64.5
Mayo	56.9	98.5	79.6	89.0	39.6	112.5	38.3	66.5	66.7
Junio	43.7	83.4	67.3	74.8	33.7	97.6	29.3	50.9	60.6
Julio	47.9	89.0	71.2	80.3	34.6	107.7	28.6	45.1	64.2
Agosto	53.7	100.7	86.4	94.6	43.6	122.8	35.6	57.4	77.5
Setiembre	65.2	112.6	104.0	104.2	55.8	133.7	44.7	68.7	84.9
Octubre	78.7	124.1	125.5	109.9	68.8	144.0	54.6	72.8	88.6
Noviembre	84.1	124.2	132.1	107.6	72.1	142.0	57.0	66.5	85.3
Diciembre	87.5	117.2	135.4	88.0	75.9	136.6	60.4	54.2	76.3

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado se aprecia en la figura 22, en forma de grafica donde los resultados obtenidos por el método de Penman Monteith son más elevados tomando como referencia el método de Tanque de evaporación clase "A" al igual los resultados obtenidos por el método de Thornthwaite y Wilm son bajos.

Figura 22. Resultados de Métodos de evapotranspiración potencial.



Fuente: Elaboración propia.

4.4 SIMULACION DE CAUDALES

4.4.1 SIMULACIÓN CON DE TANQUE EVAPORACIÓN CLASE “A”

Para el método directo de tanque de evaporación clase “A” donde podemos observar valores de los parámetros sin calibrar.

Figura 23. Valor de los parámetros sin calibrar el modelo.

Nombre de cuenca		HUANCANE	
Superficie de la cuenca		3599.65	
Parametros del modelo		Transf.	Réels
x1: Capacité rés. production (mm)		4.12	61.56
x2: Paramètre d'échange (mm)		0.71	0.71
Valores iniciales			
Niveau de remplissage initial S0 (max.: x1 mm)		100.00	
Niveau de remplissage initial R0 (max.: 60 mm)		20	
Periodo			
Longueur de la période de mise en route (mois)		12	
Durée de la période test (mois)		120	
Date de départ			
Date de fin			
Moyenne des pluies observées (mm/mois)		53.5	
Moyenne des ETP observées (mm/mois)		71.6	
Moyenne des débits observés (mm/mois)		20.0	
Moyenne des racines des débits observés		3.7	
Moyenne des log des débits observés		2.3	
Criterios de eficiencia			
Nash(Q)		0.78	
Nash(VQ)		0.69	
Nash(ln(Q))		0.24	
Coeficiente de correlacion r		0.67	

Fuente: Elaboración propia.

La calibración del modelo se realizó, para el procedimiento se utilizó el programa Solver, incorporado dentro del programa Excel, del cual tenemos como parámetros X_1 y X_2 con valores 5.13 y 0.89 como se observa en la figura 23, de igual forma los criterios de eficiencia de Nash es de 0.9 y su respectiva coeficiente de correlación (r) tiene un valor de 0.93 los cuales indican que los caudales simulados tienen un buen ajuste.

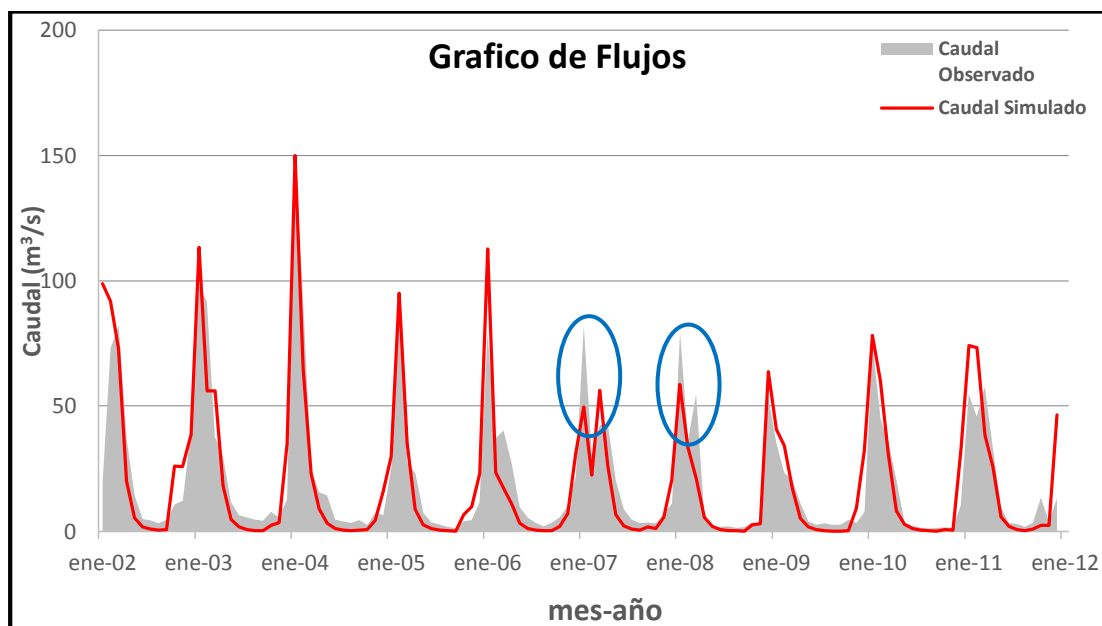
Figura 24. Valor de los parámetros, calibrando el modelo.

Nombre de cuenca			HUANCANE	
Superficie de la cuenca		3599.65		
Parametros del modelo		Transf.	Réels	
x1: Capacité rés. production (mm)		5.13	168.70	
x2: Paramètre d'échange (mm)		0.89	0.89	
Valores iniciales				
Niveau de remplissage initial S0 (max.: x1 mm)			100	
Niveau de remplissage initial R0 (max.: 60 mm)			20	
Criterios de eficiencia				
Nash(Q)			0.87	
Nash(VQ)			0.82	
Nash(ln(Q))			0.65	
Coeficiente de correlacion r			0.93	

Fuente: Elaboración propia.

Así mismo, figura 25, donde se observa que los flujos simulados, respecto a los observados, guarda una buena correlación, sin embargo se observa algunos resultados no muy satisfactorios en tres periodos, siendo pronunciados: enero-2007 y 2008 (un promedio $Q_{sim} = 61.6$ y $Q_{obs} = 74.2$) y enero-2011 ($Q_{sim} = 49.07$ y $Q_{obs} = 73.44$). En el resto de los periodos, explica su proceso de generación de lluvia en caudales.

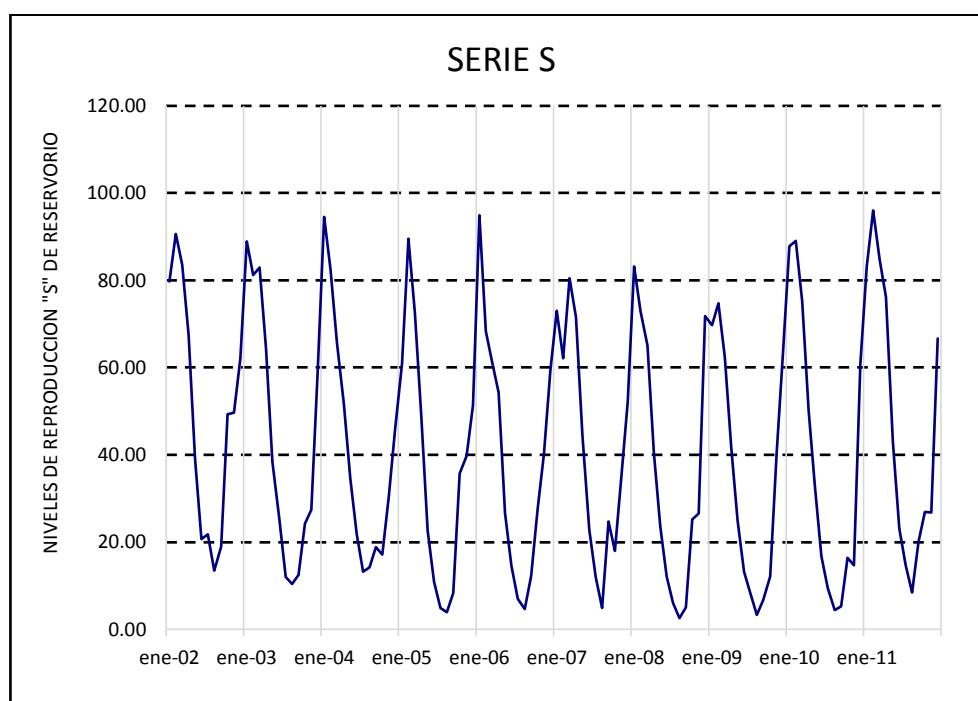
Figura 25. Hidrograma de lluvia, caudales observados y simulados.



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 26, se considera la distribución a partir de 2002, donde se observa que no hay cambios significativos, pero en el año 2007 al 2009 disminuye el la velocidad de llenado de reservorio "S" igualmente los cambios en la velocidad de llenado de la producción de tanque en los últimos años también disminuye, por lo que se observa una leve disminución de estabilidad en el modelo, donde las variaciones "S", al principio del periodo en evaluación, están influenciadas generalmente por las precipitaciones (enero del 2002, 2003 y 2004).

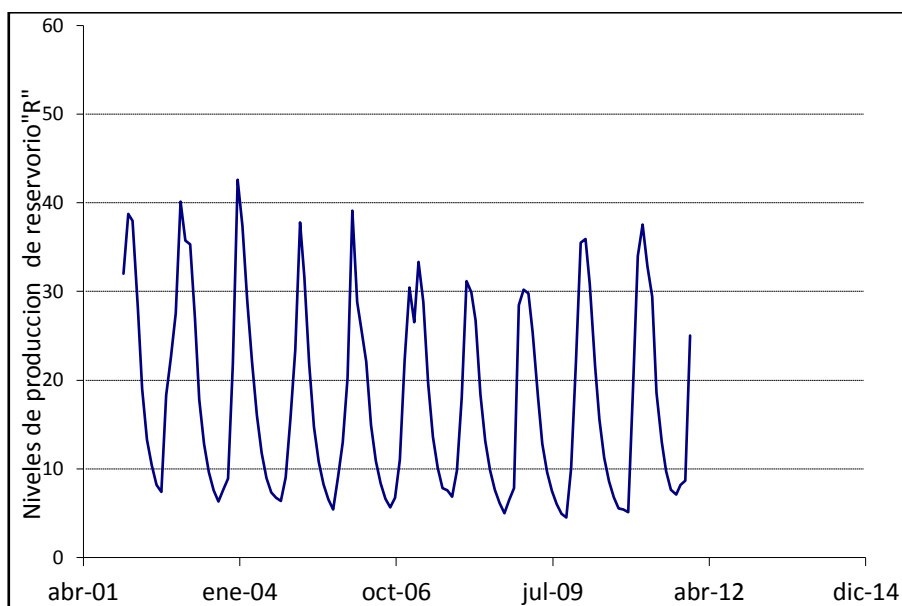
Figura 26. Evolución del nivel "S" del reservorio de producción.



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 27, se observa el comportamiento del reservorio de transferencia, donde el nivel R, presenta una alta dispersión de datos, los cuales varían entre 0.6 a 42 mm, registrándose el mayor valor en enero del año 2004 y el menor valor corresponde a enero del 2009; al igual que "S", también presenta los mismos periodos de tendencia, donde los mayores valores corresponde a las épocas de diciembre a abril, es decir épocas de mayor precipitación.

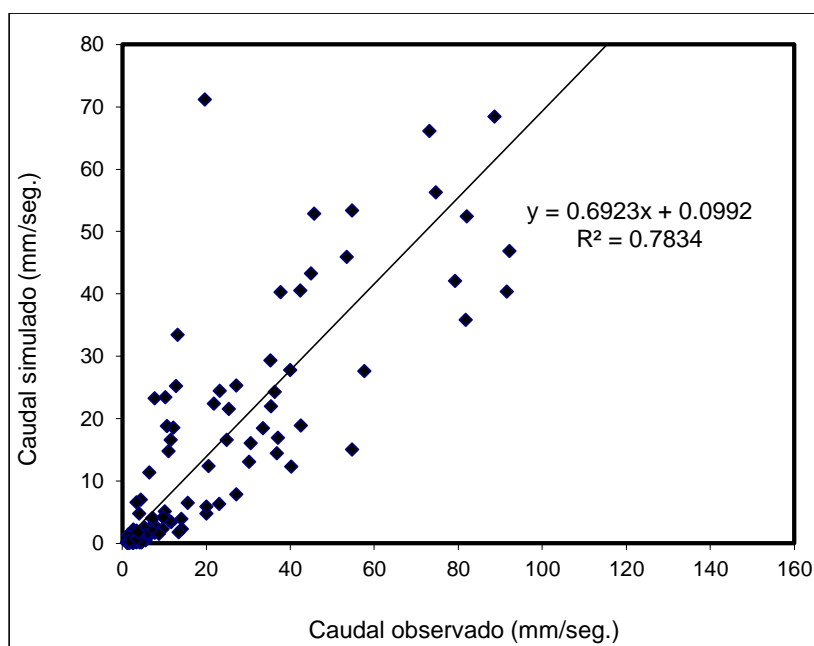
Figura 27. Evolución del nivel “R” del reservorio de transferencia.



Fuente: Elaboración propia.

Para el periodo de calibración, según la figura 28, Los resultados estadísticos de la línea de tendencia, con la ecuación lineal de los caudales simulados, en función de los valores observados, mantienen una alta correlación de 0.87, por lo que nos indica que si existe validez del modelo, como se observa en la figura 28.

Figura 28. Línea de tendencia y coeficiente R².



Fuente: Elaboración propia.

4.4.2 SIMULACIÓN CON MÉTODO PENMAN - MONTEITH

La calibración del modelo para el método de Penman Monteith se realizó, igualmente con el programa Solver, incorporado dentro del programa Excel, en el cual tenemos como parámetros X_1 y X_2 con valores 5.30 y 1.15 como se observa en la figura 29, así mismo los criterios de eficiencia de Nash es de 0.82 y coeficiente de correlación (r) es de 0.92, el cual indica una representación de ajuste aceptable (en la tabla de Nash “excelente”) entre los caudales observados y simulados.

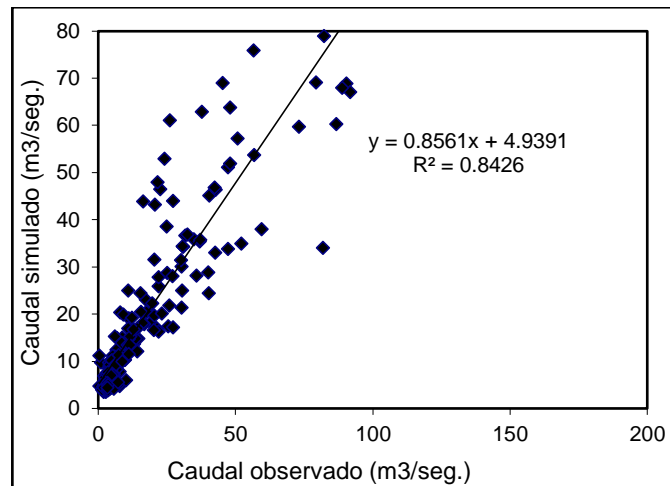
Figura 29. Valor de los parámetros, calibrando el modelo.

Nombre de cuenca		HUANCANÉ	
Superficie de la cuenca		3599.65	
Parametros del modelo		Transf.	Réels
x1: Capacité rés. production (mm)		5.38	216.88
x2: Paramètre d'échange (mm)		1.15	1.15
Periodo			
Longueur de la période de mise en route (mois)			12
Durée de la période test (mois)			204
Date de départ			01/1990
Date de fin			01/2007
Criterios de eficiencia			
Nash(Q)			0.82
Nash(VQ)			0.85
Nash(ln(Q))			0.86
Coefficient de correlacion r			0.92

Fuente: Elaboración propia.

Para el periodo de calibración para el método de Penman Monteith, según la Figura 30, el coeficiente de determinación R^2 , los resultados estadísticos de la línea de tendencia, que indica que entre el caudal simulado y observado mantienen una alta correlación de 0.84, por lo que nos indica que si existe validez del modelo.

Figura 30. Línea de tendencia y coeficiente R².



Fuente: Elaboración propia.

4.4.3 SIMULACIÓN CON MÉTODO THORNTHWAITE Y WILM

La calibración se realizó utilizando igual metodología que los anteriores métodos, para Thornthwaite y Wilm tenemos como parámetros X_1 y X_2 con valores 5.62 y 0.83 como se observa en la figura 31, así mismo los criterios de eficiencia de Nash es de 0.87, el cual indica un ajuste aceptable (en la tabla de Nash “excelente”) y el coeficiente de correlación (r) es de 0.91, entre los caudales observados y simulados.

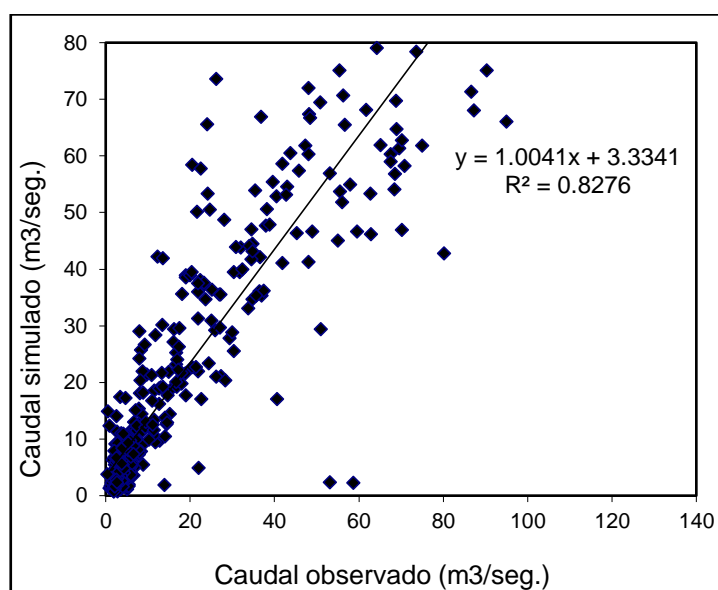
Figura 31. Valor de los parámetros, calibrando el modelo.

Nombre de cuenca	HUANCANÉ	
Superficie de la cuenca	3599.65	
Parámetros del modelo	Transf.	Réels
x1: Capacité rés. production (mm)	5.62	276.63
x2: Paramètre d'échange (mm)	0.83	0.83
Periodo		
Longueur de la période de mise en route (mois)	12	
Durée de la période test (mois)	424	
Date de départ	01/2008	
Date de fin	01/2016	
Criterios de eficiencia		
Nash(Q)	0.87	
Nash(VQ)	0.85	
Nash(ln(Q))	0.82	
Coefficiente de correlacion r	0.91	

Fuente: Elaboración propia.

Para el periodo de calibración para el método de Thornthwaite y Wilm, según la figura 32, el coeficiente de determinación (R^2), los resultados estadísticos de la línea de tendencia, que indica que entre el caudal simulado y observado mantienen una alta correlación de 0.82, por lo que nos indica que si existe validez del modelo.

Figura 32. Línea de tendencia y coeficiente R^2 .



Fuente: Elaboración propia.

4.4.4 SIMULACIÓN CON MÉTODO DE HARGREAVES.

a) Por Temperatura

La calibración se realizó utilizando igual metodología que los anteriores métodos, para el método de Hargreaves en base a temperatura en el cual tenemos como parámetros X_1 y X_2 con valores 5.16 y 1.17 como se observa en la figura 33, así mismo los criterios de eficiencia de Nash es de 0.73, el cual indica un ajuste aceptable (en la tabla de Nash "muy bueno") y un coeficiente de correlación (r) aceptable de 0.89, entre los caudales observados y simulados.

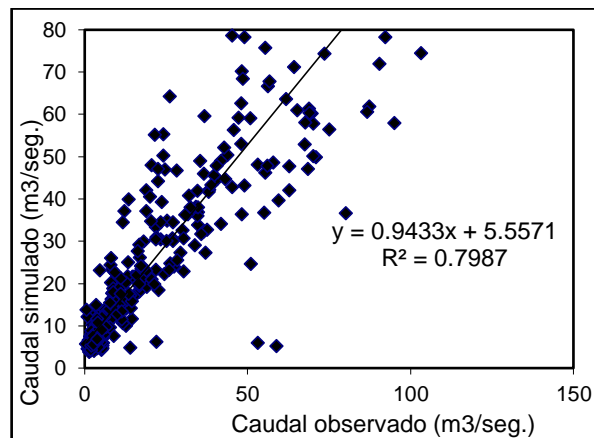
Figura 33. Valor de los parámetros, calibrando el modelo.

Nombre de cuenca			HUANCANÉ
Superficie de la cuenca			3599.65
Parámetros del modelo			Transf. Réels
x1: Capacité rés. production (mm)	5.26		193.26
x2: Paramètre d'échange (mm)	1.17		1.17
Periodo			
Longueur de la période de mise en route (mois)			12
Durée de la période test (mois)			424
Date de départ			01/1964
Date de fin			01/1999
Criterios de eficiencia			
Nash(Q)			0.73
Nash(VQ)			0.84
Nash(ln(Q))			0.81
Coefficiente de correlacion r			0.89

Fuente: Elaboración propia.

Para el periodo de calibración para el método de Hargreaves en base por temperatura, según la Figura 34, el coeficiente de determinación (R^2), los resultados estadísticos de la línea de tendencia, que indica que entre el caudal simulado y observado mantienen una correlación de 0.79.

Figura 34. Línea de tendencia y coeficiente R^2 .



Fuente: Elaboración propia.

b) Por Radiación

La calibración se realizó utilizando igual metodología que los anteriores métodos, en el cual tenemos como parámetros X_1 y X_2 con valores 5.45 y 1.09 como se observa en la figura 35, así mismo los criterios de eficiencia de Nash es de 0.86, (en la tabla de Nash “excelente”) y un coeficiente de correlación (r)

de 0.93 los cuales indica un ajuste aceptable entre los caudales observados y simulados.

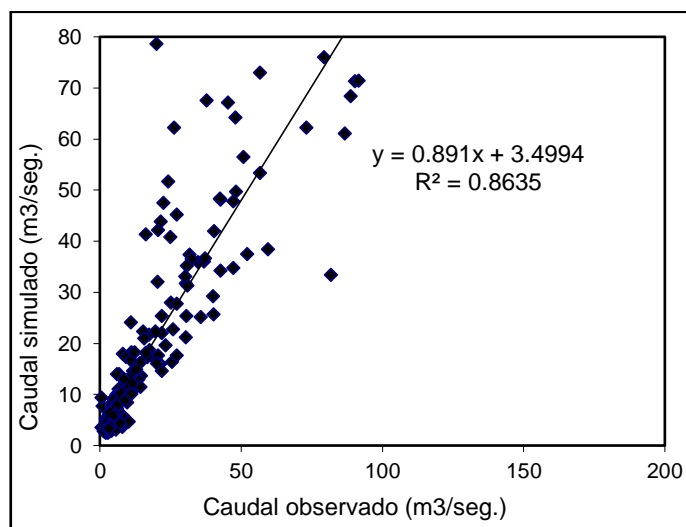
Figura 35. Valor de los parámetros, calibrando el modelo.

Nombre de cuenca		HUANCANE	
Superficie de la cuenca		3599.65	
Parametros del modelo		Transf.	Réels
x1: Capacité rés. production (mm)		5.45	233.22
x2: Paramètre d'échange (mm)		1.09	1.09
Periodo			
Longueur de la période de mise en route (mois)			12
Durée de la période test (mois)			204
Date de départ		01/1990	
Date de fin		01/2007	
Criterios de eficiencia			
Nash(Q)			0.86
Nash(VQ)			0.86
Nash(ln(Q))			0.87
Coefficiente de correlacion r			0.93

Fuente: Elaboración propia.

Para el periodo de calibración para el método de Hargreaves en base a radiación solar como se muestra en la figura 36, el coeficiente de determinación (R^2), los resultados estadísticos de la línea de tendencia, que indica que entre el caudal simulado y observado mantienen una alta correlación de 0.86, por lo que nos indica que si existe validez del modelo para la cuenca Huancané.

Figura 36. Línea de tendencia y coeficiente R^2 .



Fuente: Elaboración propia.

4.4.5 SIMULACIÓN CON MÉTODO DE OUDIN

La calibración se realizó utilizando igual metodología que los anteriores métodos, en el los parámetros X_1 y X_2 con valores 5.50 y 0.90 como se observa en la figura 37, así mismo los criterios de eficiencia de Nash es de 0.79, (en la tabla de Nash “muy bueno”) y coeficiente de correlación (r) de 0.91.

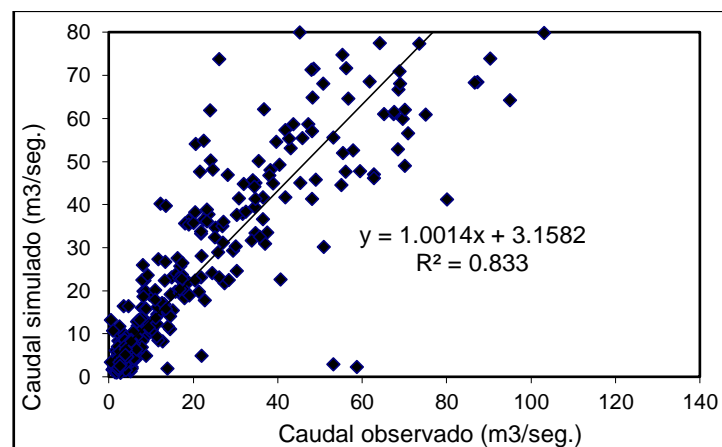
Figura 37. Valor de los parámetros, calibrando el modelo.

Nombre de cuenca		HUANCANÉ	
Superficie de la cuenca		3599.65	
Parametros del modelo		Transf.	Réels
x1: Capacité rés. production (mm)		5.50	244.43
x2: Paramètre d'échange (mm)		0.90	0.90
Periodo			
Longueur de la période de mise en route (mois)			12
Durée de la période test (mois)			424
Date de départ			01/1964
Date de fin			01/1999
Criterios de eficiencia			
Nash(Q)			0.79
Nash(VQ)			0.86
Nash(ln(Q))			0.82
Coeficiente de correlacion r			0.91

Fuente: Elaboración propia.

Para el periodo de calibración para el método de Oudin, según la figura 38, el coeficiente de determinación (R^2), los resultados estadísticos de la línea de tendencia, que indica que entre el caudal simulado y observado mantienen una alta correlación de 0.83, por lo que nos indica que si existe validez del modelo.

Figura 38. Línea de tendencia y coeficiente R^2 .



Fuente: Elaboración propia.

4.4.6 SIMULACIÓN CON MÉTODO BLANEY Y CRIDDLE

La calibración se realizó utilizando igual metodología que los anteriores métodos, en el los parámetros X_1 y X_2 con valores 5.52 y 0.99 como se observa en la figura 39, así mismo los criterios de eficiencia de Nash es de 0.79, (en la tabla de Nash “muy bueno”) y coeficiente de correlación es de 0.91 los cuales el indican un ajuste aceptable entre los caudales observados y simulados.

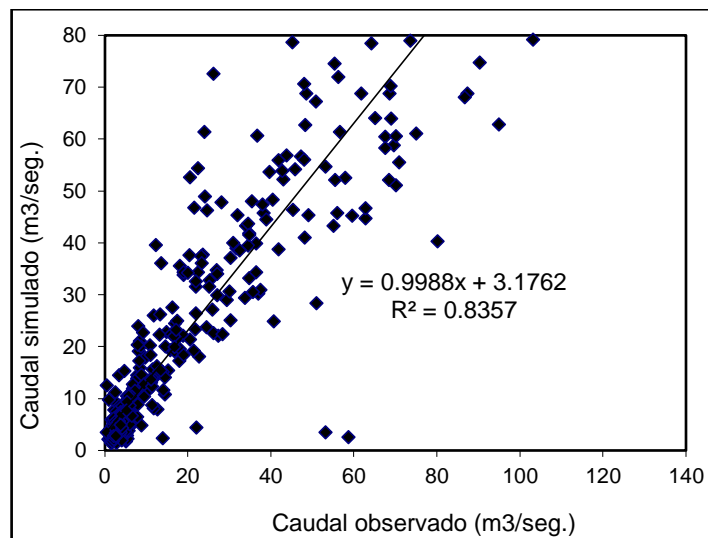
Figura 39. Valor de los parámetros, calibrando el modelo.

Nombre de cuenca		HUANCANÉ	
Superficie de la cuenca		3599.65	
Parametros del modelo	Transf.	Réels	
x1: Capacité rés. production (mm)	5.52	250.77	
x2: Paramètre d'échange (mm)	0.99	0.99	
Periodo			
Longueur de la période de mise en route (mois)		12	
Durée de la période test (mois)		424	
Date de départ		01/01/194	
Date de fin		01/1999	
Criterios de eficiencia			
Nash(Q)		0.79	
Nash(VQ)		0.86	
Nash(ln(Q))		0.85	
Coeficiente de correlacion r		0.91	

Fuente: Elaboración propia.

Para el periodo de calibración para el método de Blaney y Criddle, según la Figura 40, el coeficiente de determinación (R^2), los resultados estadísticos de la línea de tendencia, que indica que entre el caudal simulado y observado mantienen una alta correlación de 0.84, por lo que nos indica que si existe validez del modelo.

Figura 40. Línea de tendencia y coeficiente R².



Fuente: Elaboración propia.

4.4.7 SIMULACIÓN CON MÉTODO DE TURC (TURC, 1961)

La calibración se realizó utilizando igual metodología que los anteriores métodos, en el los parámetros X₁ y X₂ con valores 5.57 y 0.80 como se observa en la figura 41, así mismo los criterios de eficiencia de Nash es de 0.82, el cual indica un ajuste aceptable (en la tabla de Nash “perfecto”) entre los caudales observados y simulados.

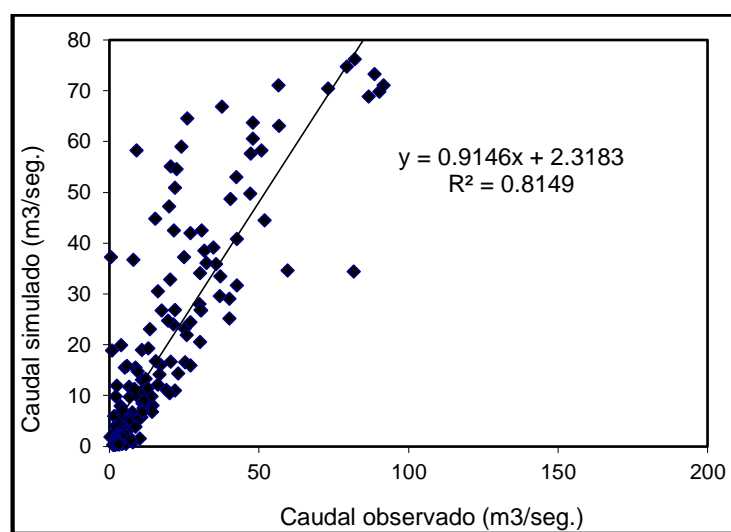
Figura 41. Valor de los parámetros, calibrando el modelo.

Nombre de cuenca		HUANCANÉ	
Superficie de la cuenca		3599.65	
Parametros del modelo		Transf.	Réels
x1: Capacité rés. production (mm)		5.57	261.51
x2: Paramètre d'échange (mm)		0.80	0.80
Periodo			
Longueur de la période de mise en route (mois)			12
Durée de la période test (mois)			204
Date de départ		01/1990	
Date de fin		01/2007	
Criterios de eficiencia			
Nash(Q)		0.82	
Nash(VQ)		0.73	
Nash(ln(Q))		0.39	
Coefficiente de correlacion r		0.90	

Fuente: Elaboración propia.

Para el periodo de calibración para el método de Turc según la figura 42, el coeficiente de determinación (R^2), los resultados estadísticos de la línea de tendencia, que indica que entre el caudal simulado y observado mantienen una alta correlación de 0.84, por lo que nos indica que si existe validez del modelo.

Figura 42. Línea de tendencia y coeficiente R^2 .



Fuente: Elaboración propia.

4.4.8 SIMULACIÓN CON JENSEN Y HAISE (1963)

La calibración se realizó utilizando igual metodología que los anteriores métodos, en los parámetros X_1 y X_2 con valores 5.42 y 0.92 como se observa en la figura 43, así mismo los criterios de eficiencia de Nash es de 0.88, (en la tabla de Nash "perfecto") y coeficiente de correlación (r) es de 0.93 los cuales indican un ajuste aceptable entre los caudales observados y simulados.

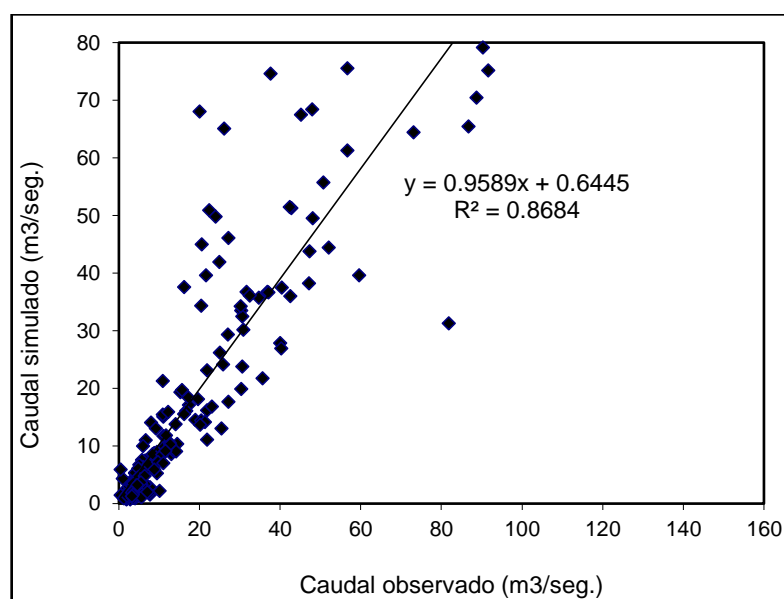
Figura 43. Valor de los parámetros, calibrando el modelo.

Nombre de cuenca		HUANCANÉ	
Superficie de la cuenca		3599.65	
Parámetros del modelo	Transf.	Réels	
x1: Capacité rés. production (mm)	5.42	225.99	
x2: Paramètre d'échange (mm)	0.92	0.92	
Periodo			
Longueur de la période de mise en route (mois)		12	
Durée de la période test (mois)		108	
Date de départ		01/2008	
Date de fin		01/2016	
Criterios de eficiencia			
Nash(Q)		0.88	
Nash(VQ)		0.81	
Nash(ln(Q))		0.64	
Coeficiente de correlacion r		0.93	

Fuente: Elaboración propia.

Para el periodo de calibración para el método de Jensen y Haise como se muestra en la figura 44, el coeficiente de determinación (R^2), los resultados estadísticos de la línea de tendencia, que indica que entre el caudal simulado y observado mantienen una alta correlación de 0.86, por lo que nos indica que si existe validez del modelo.

Figura 44. Línea de tendencia y coeficiente R^2 .



Fuente: Elaboración propia.

4.4.9 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA EFICIENCIA DE MÉTODOS DE ETP

En la tabla 8, se aprecia los métodos que utilizan datos de radiación solar para determinar la evapotranspiración potencial tienen valores más representativos en la simulación hidrológica con el modelo hidrológico GR2M.

Como por ejemplo el método Jensen y Haise tiene una eficiencia de Nash de 0.88 y su coeficiente de determinación R^2 0.87 por encima del método de tanque de evaporación clase “A” sin embargo no se cuenta con estos variables climáticos en la mayor parte de la región de Puno.

Tabla 8. Comparación de resultados.

Métodos de ETP.	Parámetros	FASE CALIBRACION					FASE VALIDACION				
		Nash	Nash(l n)	Nash (VQ)	(r)	R2	Nash	Nash(l n)	Nash (VQ)	(r)	R2
Tanque Clase A	Ev, K	0.87	0.65	0.82	0.93	0.87					
Penman Monteith	Tm, HS, HR, U	0.82	0.86	0.85	0.92	0.84	0.65	0.79	0.84	0.91	0.84
Thornthwaite y Wilm	Tm	0.80	0.85	0.79	0.91	0.83	0.87	0.85	0.82	0.95	0.89
Hargreaves Temp.	Tm, HR	0.73	0.84	0.81	0.89	0.80	0.83	0.88	0.85	0.93	0.87
Hargreaves Rad.	HR,HS	0.86	0.86	0.87	0.93	0.86	0.70	0.81	0.87	0.92	0.85
Oudin	Tm	0.79	0.86	0.82	0.91	0.83	0.87	0.85	0.85	0.94	0.89
Blaney y Criddle	Tm, HRmin,	0.79	0.86	0.85	0.91	0.84	0.86	0.85	0.87	0.94	0.89
Turc	HR, Tm, HS	0.82	0.73	0.39	0.90	0.81	0.69	0.73	0.48	0.91	0.83
Jensen y Haise	Tm, HS, T_{min} , T_{max}	0.88	0.81	0.64	0.93	0.87	0.76	0.78	0.72	0.92	0.85

Fuente: Elaboración propia.

4.4.10 DETERMINACIÓN DEL MÉTODO EFICIENTE PARA LA ETP

En la tabla 8, por otro parte tenemos el método de Thornthwaite y Wilm que determinan la evapotranspiración potencial solo a base de temperatura media los cuales tienen valores representativos en la simulación hidrológica con GR2M.

Evaluado con la comparación de caudales simulados con respecto a caudales observados en puente Huancané. En la fase de calibración con una eficiencia de Nash 0.80, un coeficiente de determinación (R^2) de 0.83 coeficiente de correlación de (r) 0.91. Y en la fase de validación con una eficiencia de Nash 0.87, un coeficiente de determinación (R^2) de 0.89 y coeficiente de correlación (r) de 0.94.

CONCLUSIONES

- Mediante la presente investigación se ha logrado identificar el método más eficiente para calcular la evapotranspiración potencial para un modelamiento hidrológico dando lugar al método de Thornthwaite y Wilm. evaluados en la comparación de caudales simulados con respecto a caudales observados con datos en el puente Huancané, dando resultados. En la fase de calibración con un eficiencia de Nash de 0.80, coeficiente de determinación (R^2) de 0.83 y un coeficiente de correlación (r) 0.91 Y en la fase de validación con un eficiencia de Nash de 0.87, coeficiente de determinación (R^2) de 0.89 y un coeficiente de correlación (r) 0.95 dando superioridad sobre otros métodos por trabajar solo un parámetro climático en este caso es temperatura media de la cuenca Huancané.
- Mediante la presente investigación se realizó un modelamiento hidrológico con modelo hidrológico GR2M con los nueve métodos que nos hemos propuesto para calcular la evapotranspiración potencial a nivel mensual en donde dio mejores ajustes para la cuenca los métodos que trabaja con más de dos parámetros climáticos donde los caudales simulados tienen mayores representaciones tanto en calibración y validación verificando con los caudales observados con la estación puente Huancané.
- Se logró realizar un análisis comparativo en la simulación de caudales entre los métodos de un parámetro a respecto de varios parámetros climáticos en la determinación de evapotranspiración potencial, donde los métodos de Thornthwaite y Oudin que solo utilizan temperatura

media para determinar la ETP. Dando valores aceptables en la fase de calibración al respecto de otros métodos que calculan la ETP con varios parámetros climáticos, pero en la fase de validación dando iguales resultados que los otros métodos entonces se pueden utilizar estos métodos en la cuenca Huancané para determinar la evapotranspiración potencial para un estudio hidrológico.

RECOMENDACIONES

- Como resultado del presente trabajo de investigación se sugiere que para determinar la evapotranspiración potencial en la cuenca Huancané o en cuencas con datos climatológicos similares a la cuenca que se estudió se puede determinar la evapotranspiración potencial de acuerdo a los resultados en la tabla 8 en el cual se muestran los resultados de calibración como validación y los parámetros climáticos.
- Se recomienda que en investigaciones futuras se realice otras investigaciones similares, donde se podría hacer con datos climáticos diarios y comparar estos métodos de evapotranspiración potencial o más métodos, así como también se podría determinar la evapotranspiración potencial utilizando herramientas SIG.
- Finalmente se recomienda a las instituciones públicas, privadas y sectores involucrados en estudios hidrológicos que tomen en cuenta al instante de decidir en calcular la evapotranspiración potencial este trabajo de investigación como material de apoyo.

REFERENCIAS

- Alcántara, A., Montalvo, N., Mejía, A., & Ingol, E. (2014). Validación de modelos hidrológicos lluvia-escorrentía para su aplicación a la cabecera de cuenca del río Jequetepeque. (Tesis doctorado, Universidad Nacional Agraria la Molina Cajamarca, Perú.
- Alkaeed, O., Flores, C., Jinno, K., & Tsutsumi, A. (2006). Comparison of several Reference evapotranspiration methods for Itoshima Peninsula Area. (K. University, Ed.) *Memoirs of the Faculty of Engineering*.
- Allen, R., Pereira L., Raes, D., & Smith M. (2006). *Crop Evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements – FAO irrigation and Drainage Paper 56*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. Italy.
- Allen, R. (2000). Using the FAO-56 dual crop coefficient method over an irrigated region as part of an evaporation intercomparison study.
- Allen, R., Smith, M., Perrier, A., & Pereira, L., (1994). An Update for the definition of reference evapotranspiration.
- Allen, R., & Pruitt, W., (1986). Rational use of the FAO Blaney - Criddle formula. *Journal of Irrigation and Drainage Engineers, ASCE*.
- Barría, P. (2010). Pronóstico de caudales medios mensuales en las cuencas de los ríos Baker y Pascua. Universidad de Chile.
- Baeza, E. (2000). Caracterización de la ventilación natural en el invernadero tipo parral. Proyecto fin de carrera. Escuela Politécnica Superior, Universidad de Almería.
- Blaney, H., & Criddle, W., Determining water requirements in irrigated áreas from climatological and irrigation data. United States Department of Agriculture. Soil Conservation Service.
- Canales, T. (2015). Modelación del Proceso Precipitación Escorrentía en la Cuenca del Río Ica (Memoria Pregrado, Universidad Nacional Agraria la Molina Lima, Perú).
- Cabrera, J. (2008). Calibración de Modelos Hidrológicos. (Vol. 1).
- Carvajal, F. (2017). Calibración del Modelo Lluvia-Escorrentía Agregado Gr4j Aplicación: Cuenca del Río Aburrá. (Memoria Artículo de Investigación, Antioquia, Colombia) Recuperado de:
<http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v74n152/a07v74n152.pdf>
- Chiappe, R. (1998). Técnicas de evaluación de Evapotranspiración Potencial y Balance Hídrico. En MEIACOL, Manual de Evaluación de Impactos Ambientales de Colombia. Ministerio del Medio Ambiente de Colombia.
- Doorenbos, J., & Pruitt, W. (1977). Guidelines for predicting crop water requirements. FAO Irrig. and Drain. Paper No. 24, 2nd ed.
- Espinosa, E. (2012). Estudio Analítico - Experimental de una Lonaria a Efectos Dinámicos por Viento. Recuperado el 03 de 01 de 2015, de <http://ri.uaq.mx/bitstream/123456789/491/1/RI000133.pdf>

- FAO, (2006). Estudio FAO riego y drenaje 56. Evapotranspiración del cultivo. (En línea). RO. Consultado, 08 de ago. 2017. Formato PDF. Disponible en <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/009/x0490s/x0490s.pdf>
- Frevert, D., Hill, R., & Braaten, B. (1983) Estimation of FAO evapotranspiration coefficients Irrig. And Drain. Engrg; ASCE.
- García, J., & López, J. (1970). Fórmula para el cálculo de la evapotranspiración potencial adaptada al trópico (15°N-15°S). Agronomía Tropical.
- Goyal, R. & Rivera, L. (2005). Manejo de riego por goteo. Recinto de Mayagüez, PR.
- Hargreaves, G., & Samani, A. (1982). Estimating Pontential Evapotranspiration. Tech note. J. Irrig. And dr. Engrg., ASCE.
- Herrera, F. (2013). Métodos para determinar la evapotranspiración.(En línea). ME. Consultado, 2 de mayo. 2017. Formato HTML. Disponible en la <http://evaporacionytranspiracion.blogspot.com/2017/05/metodos-paradeterminar-la.html>
- Huamaní, J. (2014). Variabilidad de las condiciones climáticas y. Lima Perú.
- Irmak, S., & Haman, D., (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.
- Jaramillo, A. (2006). Evapotranspiración de referencia en la región Andina de Colombia. Cenicafé.
- Lu, J. (2005). A comparison of six potential evapotranspiration methods for regional use in the southeastern United States. Journal of the American Water Resources Associaton.
- Machaca, A. (2016). Estimación de la Evapotranspiración de Referencia Utilizando Modelos De Redes Neuronales Artificiales en Función de Elementos Climáticos en la Cuenca del Rio Huancaané (tesis, Universidad Nacional del Altiplano de Puno, Perú). Recuperado de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/4612>
- Martelo, M. (1989). Selección de la fórmula de evapotranspiración mejor adaptada al área de Guanare - Masparro. Revista Facultad de Agronomía.
- Medina, J. 2000. Riego por Goteo. Ediciones MUNDI- PRENSA. 4ed.ES
- Mena, S. (2010). Evolución de la dinámica de los escurrimientos en zonas de alta montaña: caso del Volcán Antisana. Tesis. Lic. en Ing. Ambiental. Escuela Politécnica Nacional. Ecuador.
- Monsalve, G. (1995). Hidrología en la Ingeniería. Bogotá, Colombia: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.

- Molnar, P. (2011). Calibration. Watershed Modelling, SS 2011. Institute of Environmental Engineering, Chair of Hydrology and Water Resources Management, ETH Zürich. Switzerland.
- Mouelhi, S., Michel, C., Perrin, V., & Andréassian (2006). Stepwise development of two-parameter monthly water balance model. *Journal of Hydrology*, 318, 200-214.
- Thorntwaite, C. (1948). An Approach Toward a Rational Classification of Climate. *Geographical Review*.
- Oliver, M. (1990). Kriging: A Method of Interpolation for Geographical Information Systems". *International Journal of Geographic Information Systems*.
- Penman, H. (1948). Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proceedings of the Royal Society of London*.
- Poveda, G., Cuartas, L., Barco, O., & Mesa, O. (1998). Estimación de la evapotranspiración en Colombia. En S. C. Ingenieros (Ed.), *Memorias XIII Seminario Nacional de Hidráulica e Hidrología*.
- Pruit, W. (1960). Correlation of climatological data with water requirement of crops. University of California, Department of irrigation, Davis.
- Rodríguez, O. (2015). Influencia de la Radiación Solar en la Salud de las personas en la Ciudad de Moquegua, 2001-2010 (Memoria Maestría, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann de Tacna, Perú).
- Rodríguez, E. (2017). *Hidrología General* (Memoria Guía, Universidad San Antonio Abad del Cusco, Perú)
- Quincho, O. (2015). Estudio Experimental del Transporte de Sedimentos en Suspensión y Fondo y Comparación Con Fórmulas Empíricas En Los Ríos Puyango - Tumbes Y Zarumilla, (Memoria Pregrado, Universidad Nacional Agraria la Molina Lima, Perú).
- Sánchez, F. (2004). *El ciclo hidrológico*. Salamanca: Departamento de Geología. Universidad de Salamanca.
- Steel, R. & Torrie, J. (1960). "Principles and Procedures of Statistics with Special Reference to the Biological Sciences". USA: McGraw-Hill.
- Thorntwaite, C., Wilm, H., & otros. (1944). Report of the Committee on transpiration and evaporation. *Transactions American Geophysical Union*.
- Turc, L. (1954). Le bilan d'eau des sols. Relation entre la précipitation, l'évaporation et l'écoulement. *Ann. Agron.*
- Turc, L. (1961). Evaluation of irrigation water requirements, potential evapotranspiration: A simple climatic formula evolved up to date. *Ann. Agron.* <http://www.senamhi.gob.pe/main/mapa.php>
- Vásquez, A. (2000) manejo de cuencas alto andinas Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima Perú.
- Villón Béjar, M. (2011). *Hidrología*. Lima: Editorial Villón.

ANEXOS

ANEXO 1 TABLAS "A.1" PARA METODOS DE EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL

Tabla A. 1 Radiación de onda corta R_A recibida en los límites externos de la atmósfera expresada en W/m^2 .

	Lat	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Hemisferio Norte													
Ecuador	60	40	103	200	317	417	469	446	360	243	134	57	26
	52	91	157	252	357	440	475	457	389	292	192	111	74
	50	106	172	263	363	443	475	460	392	297	203	126	89
	40	177	240	317	395	455	477	466	420	346	266	194	160
	30	232	300	366	420	460	472	463	435	386	320	260	226
	20	309	354	400	435	449	452	452	440	412	369	323	297
	10	366	397	423	435	429	423	426	429	423	406	375	357
	0	415	429	435	420	397	383	389	409	426	429	417	409
	10	455	449	432	397	357	334	343	375	412	440	449	452
	20	489	457	415	357	306	277	289	332	389	437	469	483
	30	492	452	386	312	246	214	226	277	352	423	477	500
	40	495	432	349	254	183	149	160	217	306	395	472	509
	50	483	403	297	192	117	83	97	154	249	357	457	503
	60	472	360	237	123	51	26	37	89	186	309	432	500
Hemisferio Sur													

Fuente: Hidrología básica: clas (umss) – itc (Holanda).

Tabla A. 2 Número de horas de sol máxima media diaria probable para diferentes meses y latitud Sur (N)

Latitud Sur	MESES (N)											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
10	12.60	12.40	12.10	11.80	11.60	11.50	11.60	11.80	12.00	12.30	12.60	12.70
15	12.90	12.60	12.20	11.80	11.40	11.20	11.30	11.60	12.00	12.50	12.80	13.00
20	13.20	12.80	12.30	11.70	11.20	10.90	11.00	11.50	12.00	12.60	13.10	13.30
25	13.50	13.00	12.30	11.60	10.90	10.60	10.70	11.30	12.00	12.70	13.30	13.70

Fuente: estudio FAO: riego y drenaje n° 24 "las necesidades de agua de los cultivos".

Tabla A. 3 Factor de Evapotranspiración Potencial (MF) en mm por mes

Latitud Sur	MESES MF											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
14	2.680	2.317	2.340	1.959	1.733	1.536	1.648	1.895	2.144	2.490	2.566	2.706
15	2.707	2.328	2.334	1.937	1.700	1.500	1.612	1.867	2.131	2.496	2.588	2.738
16	2.734	2.339	2.317	1.914	1.666	1.464	1.576	1.838	2.117	2.500	2.610	2.769
17	2.760	2.348	2.319	1.891	1.632	1.427	1.540	1.809	2.103	2.504	2.631	2.799
18	2.785	2.359	2.311	1.867	1.598	1.391	1.504	1.780	2.088	2.508	2.651	2.830

Fuente: Absalón Vásquez Villanueva "manejo de cuencas altoandinas" tomo 1, Lima - Perú, 2000.

Tabla A. 4 La Radiación Extraterrestre Ra, expresada en equivalentes de evaporación en mm/día

Latitud Sur	MESES Ra											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
14	16.70	16.40	15.30	13.70	12.10	11.20	11.60	12.90	14.50	15.80	16.50	16.60
16	16.90	16.40	15.20	13.50	11.70	10.80	11.20	12.60	14.30	15.80	16.70	16.80
18	17.10	16.50	15.10	13.20	11.40	10.40	10.80	12.30	14.10	15.80	16.80	17.10
20	17.30	16.50	15.00	13.00	11.00	10.00	10.40	12.00	13.90	15.80	17.00	17.40

Fuente: estudio FAO: riego y drenaje n° 24

Tabla A. 5 porcentaje del total Anual- Tabuladas por mes y latitud método de Blaney Criddle (mod.FAO)

Latitud	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
0	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27
-5	0.28	0.28	0.28	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.28	0.28	0.28
-10	0.29	0.28	0.28	0.27	0.26	0.26	0.26	0.27	0.27	0.28	0.28	0.29
-15	0.29	0.28	0.28	0.27	0.26	0.25	0.26	0.26	0.27	0.28	0.29	0.29
-20	0.30	0.28	0.28	0.26	0.25	0.25	0.25	0.26	0.27	0.28	0.29	0.30

Tabla A. 6 Radiación extraterrestre tomada en la parte superior de la atmosfera (cal/cm²dia).

Lat. Sur	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
0	885	915	925	900	850	820	820	870	905	910	890	875
10	780	840	900	925	915	900	905	915	905	865	800	760
20	660	750	850	920	960	965	960	935	875	785	685	630
30	520	630	775	895	975	1000	990	925	820	685	560	490

Fuente: Hidrologia basica: CLAS (umss) – itc (Holanda).

Tabla A. 7 Coeficientes de ajuste para la ecuación de Blaney y Criddle.

Hrmin	n/N	U2m/seg.	a	b
20-50%	< 0.6	>5	-1.7	1.25
		2-5	-1.85	1.15
		2<	-2	1.05
	0.6-0.8	>5	-2.1	1.52
		2-5	-2.15	1.38
		2<	-2.2	1.2
	> 0.8	>5	-2.55	1.82
		2-5	-2.5	1.61
		2<	-2.4	1.37
> 50%	< 0.6	>5	-1.65	0.98
		2-5	-1.55	0.88
		2<	-1.45	0.8
	0.6-0.8	>5	-1.7	1.16
		2-5	-1.75	1.06
		2<	-1.8	0.97
	> 0.8	>5	-1.7	1.31
		2-5	-1.95	1.22
		2<	-2.15	1.14

Tabla A. 8 Numero de día en el año (J)

Día	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	agos	sept	oct	nov	dic
1.0	1	32	60	91	121	152	182	213	244	274	305	335
2.0	2	33	61	92	122	153	183	214	245	275	306	336
3.0	3	34	62	93	123	154	184	215	246	276	307	337
4.0	4	35	63	94	124	155	185	216	247	277	308	338
5.0	5	36	64	95	125	156	186	217	248	278	309	339
6.0	6	37	65	96	126	157	187	218	249	279	310	340
7.0	7	38	66	97	127	158	188	219	250	280	311	341
8.0	8	39	67	98	128	159	189	220	251	281	312	342
9.0	9	40	68	99	129	160	190	221	252	282	313	343
10.0	10	41	69	100	130	161	191	222	253	283	314	344
11.0	11	42	70	101	131	162	192	223	254	284	315	345
12.0	12	43	71	102	132	163	193	224	255	285	316	346
13.0	13	44	72	103	133	164	194	225	256	286	317	347
14.0	14	45	73	104	134	165	195	226	257	287	318	348
15.0	15	46	74	105	135	166	196	227	258	288	319	349
16.0	16	47	75	106	136	167	197	228	259	289	320	350
17.0	17	48	76	107	137	168	198	229	260	290	321	351
18.0	18	49	77	108	138	169	199	230	261	291	322	352
19.0	19	50	78	109	139	170	200	231	262	292	323	353
20.0	20	51	79	110	140	171	201	232	263	293	324	354
21.0	21	52	80	111	141	172	202	233	264	294	325	355
22.0	22	53	81	112	142	173	203	234	265	295	326	356
23.0	23	54	82	113	143	174	204	235	266	296	327	357
24.0	24	55	83	114	144	175	205	236	267	297	328	358
25.0	25	56	84	115	145	176	206	237	268	298	329	359
26.0	26	57	85	116	146	177	207	238	269	299	330	360
27.0	27	58	86	117	147	178	208	239	270	300	331	361
28.0	28	59	87	118	148	179	209	240	271	301	332	362
29.0	29	60	88	119	149	180	210	241	272	302	333	363
30.0	30	-	89	120	150	181	211	242	273	303	334	364
31.0	31	-	90	-	151	-	212	243	-	304	-	365

Fuente: Estudio FAO 56 riego y drenaje (2006).

Tabla A.9 Factores de conversión para convertir la velocidad del viento medida a una altura dada (sobre el pasto) a velocidad del viento a la elevación estándar de 2 m sobre la superficie del suelo

$$\text{factor de conversión} = u_z \frac{4,87}{\ln(67,8 z - 5,42)} \quad (\text{Ec. 47})$$

z altura (m)	Factor de conversión	z altura (m)	Factor de conversión	z altura (m)	Factor de conversión	z altura (m)	Factor de conversión
-	-	2,2	0,980	4,2	0,865	6,0	0,812
-	-	2,4	0,963	4,4	0,857	6,5	0,802
-	-	2,6	0,947	4,6	0,851	7,0	0,792
-	-	2,8	0,933	4,8	0,844	7,5	0,783
1,0	1,178	3,0	0,921	5,0	0,838	8,0	0,775
1,2	1,125	3,2	0,910	5,2	0,833	8,5	0,767
1,4	1,084	3,4	0,899	5,4	0,827	9,0	0,760
1,6	1,051	3,6	0,889	5,6	0,822	9,5	0,754
1,8	1,023	3,8	0,881	5,8	0,817	10,0	0,748
2,0	1,000	4,0	0,872	6,0	0,812	10,5	0,742

Fuente: estudio FAO 56 riego y drenaje (2006).

Tabla A.10 Presión de saturación de vapor (e°(T)) para diferentes temperaturas (T)

$$e^{\circ}(T) = 0,6108 * \exp\left[\frac{17,27 * T}{T + 237,3}\right] \quad (\text{Ec.11})$$

T °C	e°(T) kPa	T °C	e°(T) kPa	T °C	e°(T) kPa	T °C	e°(T) kPa
1,0	0,657	13,0	1,498	25,0	3,168	37,0	6,275
1,5	0,681	13,5	1,547	25,5	3,263	37,5	6,448
2,0	0,706	14,0	1,599	26,0	3,361	38,0	6,625
2,5	0,731	14,5	1,651	26,5	3,462	38,5	6,806
3,0	0,758	15,0	1,705	27,0	3,565	39,0	6,991
3,5	0,785	15,5	1,761	27,5	3,671	39,5	7,181
4,0	0,813	16,0	1,818	28,0	3,780	40,0	7,376
4,5	0,842	16,5	1,877	28,5	3,891	40,5	7,574
5,0	0,872	17,0	1,938	29,0	4,006	41,0	7,778
5,5	0,903	17,5	2,000	29,5	4,123	41,5	7,986
6,0	0,935	18,0	2,064	30,0	4,243	42,0	8,199
6,5	0,968	18,5	2,130	30,5	4,366	42,5	8,417
7,0	1,002	19,0	2,197	31,0	4,493	43,0	8,640
7,5	1,037	19,5	2,267	31,5	4,622	43,5	8,867
8,0	1,073	20,0	2,338	32,0	4,755	44,0	9,101
8,5	1,110	20,5	2,412	32,5	4,891	44,5	9,339
9,0	1,148	21,0	2,487	33,0	5,030	45,0	9,582
9,5	1,187	21,5	2,564	33,5	5,173	45,5	9,832
10,0	1,228	22,0	2,644	34,0	5,319	46,0	10,086
10,5	1,270	22,5	2,726	34,5	5,469	46,5	10,347
11,0	1,313	23,0	2,809	35,0	5,623	47,0	10,613
11,5	1,357	23,5	2,896	35,5	5,780	47,5	10,885
12,0	1,403	24,0	2,984	36,0	5,941	48,0	11,163
12,5	1,449	24,5	3,075	36,5	6,106	48,5	11,447

Fuente: estudio FAO 56 riego y drenaje (2006).

Tabla A.11 Pendiente de la curva de presión de vapor (Δ) para diferentes temperaturas (T)

$$\Delta = \frac{4098 * \left[0,6108 * \exp\left(\frac{17,27 * T}{T + 237,3}\right) \right]}{(T + 237,3)^2} \quad \text{(Ec. 13)}$$

T °C	Δ kPa/°C	T °C	Δ kPa/°C	T °C	Δ kPa/°C	T °C	Δ kPa/°C
1,0	0,047	13,0	0,098	25,0	0,189	37,0	0,342
1,5	0,049	13,5	0,101	25,5	0,194	37,5	0,350
2,0	0,050	14,0	0,104	26,0	0,199	38,0	0,358
2,5	0,052	14,5	0,107	26,5	0,204	38,5	0,367
3,0	0,054	15,0	0,110	27,0	0,209	39,0	0,375
3,5	0,055	15,5	0,113	27,5	0,215	39,5	0,384
4,0	0,057	16,0	0,116	28,0	0,220	40,0	0,393
4,5	0,059	16,5	0,119	28,5	0,226	40,5	0,402
5,0	0,061	17,0	0,123	29,0	0,231	41,0	0,412
5,5	0,063	17,5	0,126	29,5	0,237	41,5	0,421
6,0	0,065	18,0	0,130	30,0	0,243	42,0	0,431
6,5	0,067	18,5	0,133	30,5	0,249	42,5	0,441
7,0	0,069	19,0	0,137	31,0	0,256	43,0	0,451
7,5	0,071	19,5	0,141	31,5	0,262	43,5	0,461
8,0	0,073	20,0	0,145	32,0	0,269	44,0	0,471
8,5	0,075	20,5	0,149	32,5	0,275	44,5	0,482
9,0	0,078	21,0	0,153	33,0	0,282	45,0	0,493
9,5	0,080	21,5	0,157	33,5	0,289	45,5	0,504
10,0	0,082	22,0	0,161	34,0	0,296	46,0	0,515
10,5	0,085	22,5	0,165	34,5	0,303	46,5	0,526
11,0	0,087	23,0	0,170	35,0	0,311	47,0	0,538
11,5	0,090	23,5	0,174	35,5	0,318	47,5	0,550
12,0	0,092	24,0	0,179	36,0	0,326	48,0	0,562
12,5	0,095	24,5	0,184	36,5	0,334	48,5	0,574

Fuente: estudio FAO 56 riego y drenaje (2006).

Tabla A.12 Constante psicrométrica (γ) para diferentes alturas (z)

$$\gamma = \frac{c_p P}{\epsilon \lambda} = 0,665 * 10^{-3} \quad \text{(Ec. 8)}$$

z (m)	γ kPa/°C	z (m)	γ kPa/°C	z (m)	γ kPa/°C	z (m)	γ kPa/°C
0	0,067	1 000	0,060	2 000	0,053	3 000	0,047
100	0,067	1 100	0,059	2 100	0,052	3 100	0,046
200	0,066	1 200	0,058	2 200	0,052	3 200	0,046
300	0,065	1 300	0,058	2 300	0,051	3 300	0,045
400	0,064	1 400	0,057	2 400	0,051	3 400	0,045
500	0,064	1 500	0,056	2 500	0,050	3 500	0,044
600	0,063	1 600	0,056	2 600	0,049	3 600	0,043
700	0,062	1 700	0,055	2 700	0,049	3 700	0,043
800	0,061	1 800	0,054	2 800	0,048	3 800	0,042
900	0,061	1 900	0,054	2 900	0,047	3 900	0,042
1 000	0,060	2 000	0,053	3 000	0,047	4 000	0,041

Fuente: estudio FAO 56 riego y drenaje (2006).

ANEXO 2 TABLAS “B.1” DATOS DE PRECIPITACIÓN.

SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA													
DEPARTAMENTO : PUNO			PROV. : S.ANTONIO DE PUTINA				DIST. ANANEA		INFORMACION: PRECIPITACION MENSUAL HISTORICA				
Estación	CO. 000826		LAT. " S " : 14°40'42,4"			Long. " W " : 69°32'03,3"		Alt. 4660 MSNM					
ANANEA													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1964	90.5	124.4	98.1	36.0	46.0	1.0	0.0	0.0	28.4	40.6	58.4	70.9	594.3
1965	141.6	77.5	82.9	41.2	0.0	0.0	3.2	7.0	26.9	20.6	52.8	84.7	538.4
1966	50.3	140.4	43.8	27.7	40.5	0.0	0.0	0.0	23.7	65.6	66.5	108.6	567.1
1967	44.0	76.2	70.0	7.7	20.8	1.0	26.5	24.0	38.0	48.2	34.9	151.7	543.0
1968	126.2	175.9	84.7	27.2	7.0	0.0	28.2	36.0	15.7	9.7	25.0	27.9	563.5
1969	127.1	101.9	73.8	37.9	11.9	5.9	7.1	14.1	24.1	47.1	61.5	95.7	608.1
1970	96.6	116.1	75.5	49.0	21.0	0.6	10.8	6.5	26.1	71.5	19.3	122.1	615.2
1971	108.3	244.1	38.5	25.4	4.6	5.0	0.0	7.4	9.8	59.1	37.1	96.3	635.6
1972	112.3	100.6	80.5	31.7	7.0	1.5	6.7	23.8	30.1	43.6	56.2	109.4	603.4
1973	118.2	109.6	90.5	67.6	13.1	0.5	4.7	12.4	52.6	38.5	42.2	66.3	616.2
1974	111.1	117.1	78.0	48.3	9.9	10.0	7.3	33.8	24.7	38.6	28.4	110.0	617.2
1975	88.5	126.0	103.2	36.2	23.2	16.6	0.0	20.3	23.6	79.0	31.4	97.2	645.2
1976	122.8	98.8	90.3	28.3	27.6	12.4	8.1	6.7	59.2	6.5	19.9	81.6	562.2
1977	112.4	86.1	109.3	27.3	23.6	4.9	4.8	0.0	33.5	30.6	99.7	65.8	598.0
1978	87.3	87.6	113.5	53.5	9.1	6.3	0.0	0.0	34.8	19.5	98.6	145.0	655.2
1979	174.8	71.5	89.5	77.9	11.2	0.0	0.0	10.5	24.8	53.1	52.6	123.1	689.0
1980	129.6	94.5	99.9	21.5	18.0	0.0	3.7	10.4	36.7	60.8	38.6	81.7	595.4
1981	186.5	115.5	142.0	35.4	10.1	4.1	0.0	26.0	36.5	73.1	78.4	121.6	829.2
1982	190.3	75.9	114.1	72.7	2.8	3.5	0.0	15.0	40.2	55.6	82.9	73.6	726.6
1983	82.1	111.5	49.0	68.1	16.9	4.5	0.0	6.8	14.8	22.3	19.5	76.7	472.2
1984	158.4	161.3	128.8	29.0	12.3	2.0	5.8	43.1	7.0	59.8	123.7	129.5	860.7
1985	145.8	113.8	109.0	97.7	15.1	30.8	4.3	5.9	41.9	61.1	116.6	118.0	860.0
1986	131.7	128.6	152.2	71.1	18.1	0.0	5.1	16.2	42.8	30.1	59.9	131.8	787.6
1987	157.6	50.5	101.6	41.9	16.1	12.5	35.8	4.8	14.7	48.1	99.6	95.9	679.1
1988	112.8	93.9	115.4	75.2	24.2	0.0	0.0	0.0	7.4	32.9	30.4	81.8	574.0
1989	105.3	59.1	139.6	46.2	26.4	2.0	0.0	35.5	22.1	48.4	48.0	85.1	617.7
1990	167.4	82.5	32.9	40.5	8.3	49.7	2.2	24.5	10.1	76.3	70.7	109.5	674.6
1991	104.8	50.7	78.4	50.2	26.0	31.0	0.0	0.0	23.6	35.4	51.1	72.5	523.7
1992	106.5	90.1	63.6	32.9	0.0	14.1	0.0	37.0	8.3	34.9	69.8	88.8	546.0
1993	127.0	63.7	95.3	61.4	20.5	2.5	8.6	31.8	14.7	41.8	71.1	101.1	639.5
1994	140.2	173.3	114.4	76.5	22.0	3.9	0.0	4.0	12.3	23.7	49.2	104.3	723.8
1995	80.5	84.6	128.5	42.0	9.2	0.0	4.2	8.9	8.4	14.4	40.6	78.5	499.8
1996	132.2	98.6	51.7	28.6	19.0	0.0	0.5	22.4	17.0	27.9	62.5	43.3	503.7
1997	144.7	90.0	102.3	47.9	9.1	0.0	1.4	14.4	18.1	23.4	58.6	90.3	600.2
1998	77.0	102.7	77.5	35.0	0.5	6.2	0.0	0.5	8.9	90.8	83.0	49.2	531.3
1999	98.4	83.9	103.6	46.7	12.6	1.4	2.9	1.5	40.7	41.7	54.7	67.5	555.6
2000	93.2	97.8	95.4	23.7	7.1	18.1	4.1	4.7	20.4	75.0	26.1	112.5	578.1
2001	132.6	46.2	96.4	39.9	55.6	1.0	10.2	13.6	11.9	50.2	63.7	69.8	591.1
2002	65.9	125.7	106.1	42.3	15.1	1.0	27.2	14.7	39.5	58.8	110.3	74.4	681.0
2003	184.8	77.4	114.5	52.3	7.9	9.4	0.0	19.4	13.1	79.3	43.1	85.8	687.0
2004	236.3	136.1	79.4	39.8	16.7	19.4	6.0	15.4	31.2	45.8	60.2	83.8	770.1
2005	79.6	152.9	56.0	17.7	1.1	0.2	0.0	14.0	10.9	51.9	63.0	118.9	566.2
2006	165.0	83.1	61.3	52.6	2.8	4.4	0.0	9.8	29.2	71.3	69.8	98.1	647.4
2007	118.1	73.2	96.9	43.6	16.3	0.0	4.8	0.0	14.7	39.7	61.9	89.6	558.8
2008	140.2	62.7	60.3	40.6	20.7	2.8	1.8	2.7	7.1	48.3	56.0	135.6	578.8
2009	120.5	79.9	63.7	22.6	10.6	0.0	2.0	0.0	16.6	26.8	115.3	98.5	556.5
2010	115.4	95.0	98.2	22.6	14.4	0.0	6.0	0.0	2.4	38.4	40.4	90.9	523.7
2011	118.2	153.6	117.7	40.6	9.5	0.5	7.9	9.7	51.7	72.0	48.4	110.2	740.0
2012	108.9	147.8	104.4	79.3	6.2	2.4	13.3	5.8	15.2	59.6	37.5	158.4	738.8
2013	157.3	123.5	103.1	16.5	26.8	5.4	5.4	16.2	15.3	90.0	40.2	102.5	702.2
2014	120.1	86.5	74.5	67.7	11.0	1.3	5.5	21.3	49.7	78.0	47.9	110.5	674.1
2015	143.7	89.2	90.4	81.5	35.7	5.2	5.6	31.9	24.3	38.9	62.4	81.1	689.9
2016	127.2	102.1	93.6	46.7	15.0	6.6	4.6	13.4	23.8	48.8	60.5	95.9	638.1

Fuente: SENAMHI-Puno.

SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA - SENAMHI - PUNO													
DEPARTAMENTO: PUNO		PROVINCIA: AZANGARO		DISTRITO: AZANGARO				INFORMACION: PRECIPITACION MENSUAL HISTORICA					
ESTACION: CO. 000781		LAT: 14°54'51.7"		LONG: 70°11'26.7"				ALT. 3863					
AZANGARO													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1964	87.5	91.0	114.5	45.0	13.5	0.0	0.0	0.5	20.0	32.0	55.5	68.8	528.3
1965	150.0	82.0	133.0	27.5	0.5	0.0	0.0	2.5	18.5	18.9	55.5	122.5	610.9
1966	92.5	79.0	41.5	19.0	24.3	0.0	0.0	1.5	36.7	46.5	55.9	92.5	489.4
1967	41.0	104.0	142.8	6.9	14.2	0.0	1.0	23.6	35.8	41.5	10.6	129.8	551.2
1968	81.2	143.0	73.9	36.9	4.7	1.0	8.0	7.6	25.5	20.9	60.4	33.7	496.8
1969	117.1	63.6	46.0	28.8	2.0	1.2	12.0	4.0	18.5	15.6	31.8	51.2	391.8
1970	126.9	42.0	96.1	76.6	14.7	0.0	0.0	0.0	39.3	35.6	38.2	152.1	621.5
1971	91.6	190.3	41.0	28.1	0.5	0.6	0.3	8.7	5.8	28.1	55.8	80.1	530.9
1972	140.9	108.9	68.7	37.4	0.0	0.0	2.0	9.7	41.6	26.3	55.6	106.6	597.7
1973	145.1	99.8	112.9	93.7	7.0	0.0	3.4	6.9	47.7	43.7	88.3	43.8	692.3
1974	98.0	125.0	84.4	34.9	9.0	6.1	0.0	22.6	19.8	30.0	55.7	59.2	544.7
1975	96.0	88.6	108.6	33.1	7.2	10.5	0.0	1.0	20.7	71.7	57.5	110.0	604.9
1976	115.9	102.5	77.4	26.7	8.9	5.5	0.4	13.3	41.2	3.3	41.0	96.1	532.2
1977	64.2	113.0	120.2	17.5	3.4	1.0	0.0	0.0	43.3	51.6	91.2	61.0	566.4
1978	141.6	139.3	77.6	37.4	2.7	2.0	0.0	1.0	17.8	35.6	168.5	192.3	815.8
1979	146.1	68.7	62.2	59.6	4.0	0.0	0.0	0.0	6.5	60.9	37.1	112.8	557.9
1980	120.1	64.2	91.3	19.0	5.7	0.0	5.5	3.6	29.4	77.9	20.1	56.9	493.7
1981	132.5	105.3	92.3	47.0	5.6	4.0	0.0	23.9	27.7	65.4	36.4	100.7	640.8
1982	148.5	101.1	58.8	58.5	0.0	0.0	0.0	7.0	59.3	43.0	123.1	65.5	664.8
1983	104.6	81.1	44.4	65.1	7.4	2.0	2.6	1.6	16.8	10.7	36.2	92.2	464.7
1984	291.6	217.3	98.3	34.6	6.8	0.0	0.0	24.9	0.8	78.3	208.8	167.1	1128.5
1985	132.5	121.7	67.8	147.5	10.2	4.8	0.0	0.7	16.3	20.3	178.7	114.0	814.5
1986	95.0	92.6	90.4	132.6	9.2	0.0	1.0	6.3	37.0	6.2	86.7	142.6	699.6
1987	122.8	107.5	67.7	44.6	6.3	5.3	18.4	6.0	3.6	47.5	98.6	44.5	572.8
1988	120.6	66.0	202.1	91.9	12.0	0.0	0.0	5.3	8.9	45.9	9.3	127.4	689.4
1989	185.3	90.8	129.5	58.5	3.0	7.5	0.0	9.0	20.8	10.5	35.5	64.5	614.9
1990	159.0	76.0	75.9	25.7	5.8	61.0	0.0	3.8	17.3	109.0	84.0	103.7	721.2
1991	130.3	106.1	134.9	51.0	5.7	45.0	3.8	0.8	14.9	24.8	64.7	108.7	690.7
1992	153.6	59.3	49.7	14.4	0.0	8.0	0.0	59.8	14.8	44.5	66.3	123.7	594.1
1993	142.8	54.5	84.3	87.9	8.6	4.8	1.3	9.2	20.4	68.6	125.4	127.4	735.2
1994	111.7	169.3	89.1	72.4	9.0	1.0	0.0	6.3	13.4	35.6	59.8	88.1	655.7
1995	72.3	78.0	97.8	14.6	1.0	0.0	0.0	0.6	5.1	33.1	90.0	88.4	480.9
1996	142.5	67.9	111.9	25.7	15.0	0.3	2.0	3.1	11.2	35.2	59.5	64.0	538.3
1997	150.4	141.3	139.1	40.1	7.8	0.0	0.0	13.1	32.1	36.9	134.6	100.5	795.9
1998	95.0	71.4	77.2	34.6	0.0	12.0	0.0	0.0	11.0	58.0	76.3	17.6	453.1
1999	99.8	68.0	134.6	52.0	3.5	1.0	0.0	0.5	30.6	69.3	31.8	23.2	514.3
2000	132.4	110.0	61.3	12.4	2.9	7.9	0.5	28.8	6.7	79.8	25.6	65.3	533.6
2001	195.4	94.8	168.0	20.9	19.9	1.0	4.4	8.0	16.6	44.9	42.5	136.6	753.0
2002	117.4	116.4	155.4	49.1	10.3	1.9	10.8	9.0	15.0	167.3	87.1	140.6	880.3
2003	149.9	95.3	109.4	58.9	4.7	5.7	0.6	5.0	7.8	32.9	42.4	118.2	630.8
2004	227.4	93.9	47.7	32.8	15.9	3.6	2.8	16.5	39.6	16.0	62.6	71.5	630.3
2005	42.5	171.8	78.5	28.6	0.3	0.0	0.0	5.0	19.6	59.8	34.3	84.5	524.9
2006	188.7	36.7	75.3	33.2	0.2	1.3	0.0	2.3	11.3	60.6	60.6	76.1	546.3
2007	97.0	54.5	144.6	80.6	12.5	0.3	0.6	0.8	50.6	17.1	62.8	85.3	606.7
2008	98.4	91.9	49.7	10.0	3.1	0.0	0.0	0.0	22.8	44.0	61.5	171.6	553.0
2009	120.0	91.9	68.2	23.2	4.4	0.0	0.4	0.0	14.2	28.2	91.1	85.4	527.0
2010	162.6	95.1	63.1	31.8	7.6	0.0	0.3	2.3	4.0	30.6	24.5	82.7	504.6
2011	133.3	173.7	68.2	54.0	0.4	0.0	4.1	3.80	60.9	43.8	31.4	85.6	659.2
2012	100.2	100.1	104.7	49.4	14.6	0.0	3.0	1.3	5.1	42.7	40.7	102.6	564.4
2013	150.3	145.6	120.6	27.2	22.3	1.6	2.3	10.6	6.5	50.4	37.9	145.3	720.6
2014	99.0	96.5	94.1	33.9	5.3	0.0	2.9	14.4	48.3	51.3	31.0	124.8	601.5
2015	134.4	93.2	71.1	51.5	6.7	0.6	2.9	10.3	42.2	64.3	66.7	139.7	683.6
2016	85.5	100.8	92.7	44.7	7.1	4.0	1.9	7.8	23.1	44.6	65.1	71.6	548.9

Fuente: SENAMHI-Puno.

SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA													
DEPARTAMENTO : PUNO		PROV. : HUANCANE			DIST. COJATA			INFORMACION: PRECIPITACION MENSUAL HISTORICA					
Estación	CO. 157418	LAT. " S " : 15°01'31,5"			Long. " W " : 69°21'49,3"			Alt. 4380 MSNM					
COJATA													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1964	92.3	356.2	225.3	41.3	31.0	0.4	2.5	3.4	37.0	69.8	61.7	47.7	968.6
1965	226.0	194.2	206.7	45.7	0.0	0.0	0.0	4.4	35.9	20.6	41.3	164.9	939.7
1966	100.8	155.1	50.7	14.0	42.5	0.0	0.0	0.0	22.6	28.2	29.4	109.5	552.8
1967	34.8	65.7	125.4	10.7	24.4	6.1	25.2	37.1	40.0	44.2	30.0	133.2	576.8
1968	77.8	107.2	51.7	31.9	7.4	0.0	26.4	8.0	32.9	30.9	91.9	54.7	520.8
1969	117.6	84.8	50.8	35.9	1.6	2.5	22.3	3.4	28.9	35.1	48.7	60.2	491.8
1970	101.0	94.0	106.6	73.2	8.0	0.0	2.6	3.7	52.9	32.0	25.3	147.4	646.7
1971	161.4	115.4	62.1	17.5	5.0	1.5	0.0	6.2	8.6	71.8	72.9	75.6	598.0
1972	183.7	78.8	82.8	55.7	0.0	0.0	3.7	18.6	17.5	45.5	80.7	80.7	647.7
1973	162.9	90.3	120.4	72.9	16.3	4.2	1.2	4.1	83.9	58.5	54.9	99.0	768.6
1974	169.0	146.3	64.4	48.5	6.4	6.0	0.0	33.3	13.0	63.9	35.5	98.2	684.5
1975	115.1	132.3	131.7	22.0	22.5	6.8	0.0	2.0	38.2	40.8	60.0	123.3	694.7
1976	172.1	96.2	97.1	45.1	21.5	12.0	9.5	31.5	84.9	12.9	13.3	69.9	666.0
1977	90.7	178.3	112.3	42.6	20.6	7.0	0.0	0.0	27.5	51.7	85.1	121.9	737.7
1978	175.3	156.7	88.3	68.3	0.0	9.0	0.0	0.0	26.0	20.0	147.0	216.6	907.2
1979	192.9	90.8	106.4	62.5	0.0	0.0	0.0	3.5	3.0	28.9	70.3	76.8	635.1
1980	211.1	86.1	135.7	16.3	15.7	1.4	12.3	16.3	52.7	102.4	40.0	66.5	756.5
1981	198.5	177.9	82.4	90.3	4.3	4.2	0.0	22.5	49.0	98.9	36.1	118.7	882.8
1982	170.2	66.0	145.5	72.7	8.3	0.0	0.0	13.5	68.5	72.1	139.3	72.0	828.1
1983	97.5	123.2	80.0	89.7	12.3	0.0	0.0	7.0	29.5	60.0	14.7	55.3	569.2
1984	294.9	227.0	82.8	57.2	4.0	16.0	13.7	39.5	10.8	51.3	121.7	132.8	1051.7
1985	186.9	148.9	127.6	131.7	23.5	21.0	0.0	6.6	86.1	53.7	151.3	174.4	1111.7
1986	144.4	161.1	152.8	104.0	18.7	0.0	7.3	26.2	67.2	32.8	64.5	123.1	902.1
1987	183.9	63.3	73.9	90.9	20.2	2.6	19.0	11.2	8.6	66.3	84.6	125.9	750.4
1988	186.4	106.8	119.8	64.4	38.5	0.0	0.0	0.0	4.0	63.3	0.0	85.8	669.0
1989	100.8	83.5	100.8	49.7	5.9	7.1	3.1	34.9	6.3	17.2	59.0	72.6	540.9
1990	130.4	60.6	66.7	52.2	5.5	63.0	0.0	13.1	16.9	74.3	95.5	73.6	651.8
1991	120.2	96.8	108.1	36.6	19.6	40.3	0.0	0.0	18.5	31.3	53.5	76.8	601.7
1992	171.7	78.5	60.5	17.0	0.0	15.1	0.0	64.6	27.6	29.1	73.1	146.3	683.5
1993	172.8	64.2	64.3	27.0	3.0	7.1	5.9	22.0	27.2	75.6	66.7	113.6	649.4
1994	111.3	169.9	132.8	93.0	26.8	7.9	0.0	0.0	56.1	67.1	104.9	122.3	892.1
1995	153.1	96.0	142.7	33.5	8.5	0.0	4.9	10.5	20.7	34.0	53.3	97.9	655.1
1996	127.2	87.0	111.2	65.2	32.5	0.0	0.5	14.7	29.8	42.2	88.3	120.5	719.1
1997	160.7	163.4	144.9	78.8	11.5	0.0	2.9	24.6	41.0	57.1	79.5	55.9	820.3
1998	82.6	164.5	119.1	61.2	0.0	12.0	0.0	8.1	5.0	70.9	111.0	41.4	675.8
1999	125.7	122.7	160.8	47.6	10.0	4.9	3.4	0.0	60.7	63.7	44.1	88.9	732.5
2000	144.7	115.9	64.8	26.5	10.7	19.6	5.4	30.3	28.5	115.6	22.9	124.7	709.6
2001	164.6	58.5	202.7	29.8	37.6	6.8	19.2	33.0	42.2	82.1	102.6	74.0	853.1
2002	83.2	189.5	130.3	65.3	26.2	0.8	37.9	14.9	43.5	111.9	87.4	91.5	882.4
2003	151.0	135.6	130.4	55.1	13.6	6.8	0.0	25.5	19.0	43.9	64.6	119.3	764.8
2004	240.4	95.6	45.8	55.2	38.0	10.8	6.4	22.3	46.2	29.4	72.4	55.0	717.5
2005	138.1	131.3	81.8	30.3	0.8	0.0	2.4	1.8	18.2	107.5	83.3	68.5	664.0
2006	231.4	38.5	80.8	47.7	3.8	0.0	0.0	7.2	19.8	43.6	59.0	84.7	616.5
2007	144.1	53.3	138.5	78.3	32.1	0.0	0.0	2.9	66.6	30.1	89.1	112.0	747.0
2008	130.1	72.8	78.2	30.0	3.5	4.5	0.0	1.5	16.3	79.7	27.5	117.1	561.2
2009	99.5	71.5	55.9	22.1	2.6	0.0	5.2	0.0	12.0	51.2	66.3	141.2	527.5
2010	135.7	153.1	74.7	32.5	14.9	1.5	2.7	2.0	0.8	35.5	16.2	148.7	618.3
2011	118.2	153.6	117.7	35.6	9.5	0.5	7.9	7.7	61.7	110.0	48.4	110.2	781.0
2012	108.9	147.8	104.4	79.3	1.2	2.4	7.3	5.8	35.2	59.6	37.5	158.4	747.8
2013	157.3	123.5	103.1	16.5	26.8	5.4	8.4	16.2	35.3	90.0	40.2	102.5	725.2
2014	117.8	87.7	78.9	64.3	3.7	1.2	10.6	16.6	68.4	41.5	46.7	61.2	598.6
2015	141.5	104.6	66.4	93.0	21.4	0.0	9.8	30.8	30.0	64.7	89.2	108.0	759.4
2016	87.1	119.7	104.8	52.5	13.9	6.1	5.6	13.7	34.3	56.0	65.0	102.3	661.0

Fuente: SENAMHI-Puno.

SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA - SENAMHI - PUNO														
DEPARTAMENTO:	PUNO			PROVINCIA:	HUANCANE			DISTRITO:	HUANCANE			INFORMACION:	PRECIPTACION MENSUAL HISTORICA	
ESTACION:	CO.000786			LAT:	15°12'5.4"			LONG:	69°45'12.8"			ALT:	3890	
HUANCANE														
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL	
1964	68.0	92.0	219.5	32.0	25.6	0.0	0.0	2.2	16.0	19.5	81.4	47.5	603.7	
1965	173.5	108.5	100.0	28.8	3.5	0.0	3.5	2.0	21.0	24.0	74.0	184.0	722.8	
1966	106.0	126.0	123.0	16.5	75.0	0.0	0.0	0.0	11.6	37.5	63.2	84.4	643.2	
1967	37.5	73.0	78.0	7.0	29.0	1.0	23.5	16.5	62.0	47.0	7.3	166.5	548.3	
1968	92.2	212.4	89.2	36.2	11.5	2.4	13.4	12.2	57.0	53.9	122.0	85.8	788.2	
1969	121.2	148.8	86.0	33.5	0.0	2.2	11.4	8.2	15.7	13.3	53.8	50.4	544.5	
1970	164.1	77.4	86.9	39.7	14.2	1.0	0.0	0.0	42.8	58.2	35.0	193.0	712.3	
1971	118.0	183.0	49.3	18.5	2.0	1.0	0.0	2.5	1.0	31.2	46.4	56.5	509.4	
1972	169.8	79.0	55.0	23.5	1.0	0.0	5.5	7.5	43.0	30.3	61.5	157.0	633.1	
1973	151.6	93.2	153.5	69.5	12.0	0.0	2.0	8.5	74.8	36.4	22.9	56.5	680.9	
1974	190.4	179.8	56.0	36.0	12.0	3.0	1.0	24.9	18.0	35.5	47.5	72.5	676.6	
1975	127.0	181.5	103.5	18.4	10.0	4.0	0.0	0.0	10.6	61.5	26.2	155.0	697.7	
1976	106.0	78.0	69.7	20.0	24.5	4.5	1.8	26.6	118.7	19.0	13.9	97.6	580.3	
1977	64.3	150.6	94.6	23.0	6.8	0.0	1.9	3.2	55.6	42.0	77.0	91.0	610.0	
1978	120.8	204.2	123.8	65.4	0.1	7.7	2.8	0.1	34.0	28.5	131.1	195.2	913.7	
1979	191.8	99.5	63.1	70.5	1.6	0.0	2.8	9.2	4.2	78.2	56.5	107.9	685.3	
1980	118.3	120.4	139.7	31.3	7.1	0.2	5.7	9.8	70.7	91.2	26.3	85.1	705.8	
1981	280.3	103.6	114.6	83.0	14.7	0.1	0.0	21.8	33.6	106.2	45.8	106.6	910.3	
1982	163.0	55.2	112.8	68.0	1.2	1.2	0.0	4.2	18.6	39.2	126.2	53.2	642.8	
1983	102.4	68.4	34.4	37.2	16.8	1.0	1.0	2.6	17.5	12.0	53.8	84.8	431.9	
1984	98.2	166.7	125.4	38.8	16.2	9.6	3.0	17.8	1.4	72.2	113.4	81.4	744.1	
1985	168.7	96.0	107.6	95.8	22.0	17.4	0.0	3.4	83.8	28.8	193.2	163.8	980.5	
1986	183.2	148.4	151.4	67.6	9.2	0.0	9.0	16.3	72.6	17.6	85.0	115.1	875.4	
1987	191.1	50.1	77.5	28.2	23.2	10.2	18.2	12.4	5.4	68.4	78.4	57.0	620.1	
1988	201.4	77.9	249.8	103.2	48.6	0.0	0.0	0.0	8.9	48.4	5.1	92.7	836.0	
1989	156.0	120.3	111.8	58.8	3.9	7.0	1.1	14.7	15.2	21.9	67.9	83.6	662.2	
1990	121.9	55.6	49.4	21.2	12.8	44.9	0.0	27.9	25.6	52.1	98.1	98.6	608.1	
1991	123.4	137.7	138.0	29.2	20.1	51.1	2.0	0.7	29.4	14.1	46.1	143.2	735.0	
1992	132.0	75.4	46.9	26.4	0.0	9.7	4.0	72.1	13.7	66.4	45.2	140.0	631.8	
1993	127.3	47.9	111.2	58.1	11.5	2.1	2.0	10.6	19.1	56.5	90.6	143.9	680.8	
1994	100.8	114.7	150.6	49.5	14.0	1.8	0.0	2.0	11.0	39.2	64.6	132.8	681.0	
1995	133.3	124.1	89.9	23.7	11.2	0.0	0.8	1.2	17.0	14.7	69.5	77.2	562.6	
1996	200.9	80.9	71.1	27.5	2.3	0.0	4.6	3.5	13.1	14.8	70.0	147.4	636.1	
1997	171.8	110.8	183.4	83.4	15.5	0.0	0.0	15.8	40.6	41.1	85.0	51.7	799.1	
1998	109.3	69.4	87.5	52.9	0.0	5.7	0.0	0.5	4.2	65.2	121.8	35.6	552.1	
1999	88.8	65.9	151.8	52.4	14.7	0.5	2.1	1.7	45.7	61.7	46.2	41.2	572.7	
2000	105.2	65.9	113.8	7.1	12.1	7.3	0.5	21.4	10.5	97.8	14.7	113.5	569.8	
2001	205.1	142.2	159.7	23.8	25.7	3.5	6.2	10.9	9.1	92.0	63.3	123.6	865.1	
2002	90.9	175.5	151.5	72.3	21.1	2.8	23.5	6.1	42.3	140.1	85.8	116.8	928.7	
2003	216.5	107.8	131.3	46.3	6.0	8.0	1.1	8.4	22.4	67.6	40.8	105.9	762.1	
2004	195.9	147.1	54.1	42.8	11.1	8.8	7.3	26.8	21.1	34.0	51.3	91.9	692.2	
2005	109.4	148.6	96.6	16.6	0.5	0.0	0.0	5.2	28.0	75.5	41.5	94.2	616.1	
2006	224.3	41.1	76.7	39.3	0.5	1.5	0.0	3.8	23.1	55.9	51.3	113.2	630.7	
2007	137.9	97.4	122.8	64.0	8.2	0.0	2.2	0.7	83.1	11.6	58.1	119.4	705.4	
2008	134.3	76.6	61.8	15.1	8.7	0.0	0.0	0.0	10.5	48.5	32.7	212.2	600.4	
2009	80.1	113.3	52.9	19.3	2.5	0.0	3.2	0.0	12.6	16.0	58.8	100.0	458.7	
2010	156.2	112.5	48.8	21.2	24.6	0.0	2.0	0.0	0.6	1.0	14.7	118.8	500.4	
2011	168.4	262.5	143.7	106.2	0.3	0.0	5.6	1.4	31.7	33.4	22.5	118.5	894.2	
2012	142.4	130.5	130.9	42.8	3.0	1.0	3.3	1.6	11.5	28.4	26.2	136.9	658.5	
2013	147.5	184.7	64.0	13.7	102.0	4.4	8.1	12.1	7.5	89.6	44.0	156.1	833.7	
2014	135.4	155.8	63.7	42.8	15.7	0.8	7.1	12.5	61.7	45.6	18.4	116.4	675.9	
2015	128.8	102.0	60.8	57.8	9.1	2.0	2.4	18.8	31.3	40.6	64.0	119.4	637.0	
2016	96.4	116.2	103.6	42.4	19.3	4.4	5.8	9.5	29.6	46.6	60.4	109.5	643.7	

Fuente: SENAMHI-Puno.

SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA - SENAMHI - PUNO													
DEPARTAMENTO: PUNO		PROVINCIA: MOHO		DISTRITO: MOHO				INFORMACION: PRECIPITACION MENSUAL HISTORICA					
ESTACION: CO.000787		LAT: 15°23'17.8"		LONG: 69°29'03.4"				ALT: 3890					
HUARAYA MOHO													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1964	88.8	212.3	229.5	42.6	54.7	0.0	0.0	3.3	28.4	19.5	53.0	101.4	833.5
1965	281.7	109.2	103.5	40.8	4.2	0.8	2.7	2.7	30.0	40.7	74.0	174.9	865.2
1966	156.8	121.2	131.6	38.1	75.0	0.0	0.0	0.5	15.7	37.6	72.4	112.3	761.2
1967	57.5	81.1	180.6	10.5	29.0	4.8	30.5	40.3	78.8	47.0	10.2	174.9	745.2
1968	145.3	285.8	69.9	36.2	26.8	2.5	33.1	14.2	57.0	53.9	127.3	99.0	951.0
1969	178.2	143.6	80.4	44.5	3.5	0.1	27.6	10.5	16.9	19.7	105.2	67.5	697.7
1970	166.2	154.7	146.9	68.5	48.4	0.8	0.2	1.0	52.0	56.0	24.4	192.7	911.8
1971	223.7	263.9	71.8	34.7	5.2	1.2	0.0	19.0	3.5	49.8	68.3	97.2	838.3
1972	181.1	109.7	109.0	46.1	3.3	0.0	2.0	8.7	43.6	54.4	66.6	179.4	803.9
1973	234.5	127.2	116.6	88.7	23.9	1.8	9.5	30.7	107.6	60.4	30.5	88.8	920.2
1974	248.4	179.8	81.9	48.6	4.9	10.0	0.0	26.5	16.7	57.7	32.8	146.0	853.3
1975	207.7	211.0	166.9	48.3	11.0	8.9	0.0	0.5	26.2	67.3	45.3	163.8	956.9
1976	200.9	105.8	129.8	23.4	51.3	10.7	10.8	9.3	118.7	19.0	12.9	121.5	814.1
1977	94.1	167.9	164.4	23.2	31.4	0.3	3.4	0.2	54.4	47.2	125.2	190.0	901.7
1978	240.8	152.7	141.8	67.0	3.2	11.2	1.5	2.1	28.8	39.5	161.8	190.7	1041.1
1979	318.1	96.4	118.2	113.2	7.6	0.0	12.1	12.8	9.9	102.5	39.7	243.8	1074.3
1980	144.5	79.6	160.8	61.1	8.5	1.8	21.2	30.2	86.9	91.0	12.4	168.7	866.7
1981	324.9	162.3	103.7	79.0	9.8	1.0	0.0	41.1	52.1	121.3	50.7	118.5	1064.4
1982	298.8	61.2	112.4	67.6	3.0	0.3	1.6	10.5	105.8	74.7	96.4	55.4	887.7
1983	84.1	118.8	55.5	87.6	26.0	5.9	1.0	2.0	72.9	50.1	23.3	70.1	597.3
1984	376.6	299.7	142.7	30.5	31.8	22.1	3.2	43.1	2.8	46.8	134.4	136.6	1270.3
1985	212.7	140.6	177.4	135.9	34.6	30.3	0.2	1.0	100.5	42.3	244.4	224.5	1344.4
1986	201.8	207.2	126.5	95.8	26.0	0.0	27.4	41.3	91.8	18.1	76.5	183.4	1095.8
1987	252.1	65.6	109.3	35.2	13.1	7.1	46.2	8.8	10.0	51.4	94.3	84.1	777.2
1988	214.6	158.0	263.1	94.2	57.2	0.0	0.0	0.0	6.8	40.1	14.1	94.8	942.9
1989	165.3	89.1	89.6	90.7	24.8	13.5	3.0	39.0	11.7	16.0	51.9	63.6	658.2
1990	166.6	74.5	58.8	63.8	9.0	72.5	0.0	22.7	25.7	110.1	125.9	102.3	831.9
1991	157.9	181.7	184.5	39.4	31.7	60.5	0.0	7.6	32.0	15.3	63.0	124.6	898.2
1992	166.6	100.7	44.7	21.7	0.0	25.2	1.5	101.6	12.6	84.0	48.8	145.7	753.1
1993	310.3	55.1	70.1	83.6	17.7	12.7	1.4	12.4	30.6	53.3	106.4	124.2	877.8
1994	192.5	102.5	124.4	116.1	21.7	2.8	0.0	2.0	13.4	38.3	74.0	157.3	845.0
1995	133.7	142.7	110.9	17.3	10.0	0.0	0.0	3.7	32.2	28.6	76.5	148.9	704.5
1996	266.5	88.1	83.1	40.5	9.1	0.0	7.6	4.3	23.3	28.1	86.2	159.2	796.0
1997	262.0	159.4	185.3	85.0	9.0	0.0	0.2	24.9	78.3	40.3	145.7	108.8	1098.9
1998	110.1	92.7	144.6	38.4	0.0	11.3	0.0	2.3	3.8	44.7	85.0	30.2	563.1
1999	109.8	68.3	235.4	62.3	7.7	0.5	0.4	0.8	47.8	108.2	50.1	42.9	734.2
2000	143.4	94.3	110.6	19.0	9.7	10.6	0.0	39.2	9.5	114.5	24.8	122.7	698.3
2001	402.1	184.9	181.9	40.6	29.5	5.1	20.3	14.5	16.0	75.9	41.2	136.0	1148.0
2002	112.9	260.3	214.0	48.8	18.1	4.4	32.2	13.8	64.6	117.5	136.7	124.0	1147.3
2003	300.0	165.2	120.9	52.3	21.0	10.6	2.1	14.3	47.3	54.7	24.3	200.1	1012.8
2004	244.2	114.3	61.1	27.6	8.8	17.2	10.0	30.5	28.3	28.2	69.5	72.1	711.8
2005	144.0	231.3	53.8	49.9	0.5	0.0	0.0	9.0	30.6	94.7	97.2	131.2	842.2
2006	238.4	93.6	69.2	41.8	2.4	0.0	0.0	4.4	55.0	22.9	63.8	148.9	740.4
2007	140.3	114.1	122.8	108.9	7.1	0.0	5.8	0.0	75.0	38.2	100.7	89.8	802.7
2008	219.3	135.6	118.0	12.0	20.2	0.0	0.0	0.0	7.3	85.0	22.5	209.5	829.4
2009	105.2	97.8	52.8	20.5	5.2	0.0	5.8	0.0	12.5	48.0	124.4	158.6	630.8
2010	156.2	112.5	58.8	26.2	24.6	0.0	5.6	2.3	48.6	45.9	55.6	175.0	711.3
2011	198.4	282.5	143.7	116.2	0.3	2.2	5.2	3.3	17.2	45.2	68.6	223.0	1105.8
2012	173.4	201.0	87.2	41.0	25.3	6.3	8.3	11.8	5.0	93.8	36.3	128.0	817.4
2013	136.6	120.1	80.6	38.1	24.0	2.0	14.7	24.5	93.9	50.1	27.9	103.0	715.5
2014	212.5	147.2	79.7	116.0	11.1	1.5	9.5	16.4	44.7	65.2	98.9	117.5	920.2
2015	147.2	102.0	60.8	67.8	9.1	2.0	5.4	21.8	38.3	45.6	64.0	104.0	668.0
2016	197.1	142.8	120.0	56.7	18.3	7.4	7.2	15.1	40.8	55.8	72.4	133.3	866.9

Fuente: SENAMHI-Puno.

SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA - SENAMHI - PUNO													
DEPARTAMENTO: PUNO		PROVINCIA: AZANGARO		DISTRITO: MUÑANI		INFORMACION: PRECIPITACION MENSUAL HISTORICA							
ESTACION: CO.000785		LAT: 14°46'01.0"		LONG: 69°57'06.5"		ALT: 3948							
MUÑANI													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1964	78.4	147.15	209.5	34.8	28.65	0	0	1.75	18.7	19.5	67.2	64.45	670.1
1965	140.1	76.5	60.0	45.4	0.0	0.0	0.0	0.0	25.9	16.0	66.9	95.1	525.9
1966	78.8	97.2	54.9	16.2	26.8	0.0	0.0	0.0	7.4	21.2	50.1	46.7	399.3
1967	17.7	63.3	78.6	10.6	12.2	0.0	20.0	23.0	82.2	56.6	38.1	204.4	606.7
1968	75.7	128.9	39.6	46.1	13.0	0.0	22.8	20.4	56.2	37.9	91.3	31.6	563.5
1969	135.0	91.6	61.8	55.2	0.0	0.0	4.5	8.4	27.6	23.4	51.2	86.7	545.4
1970	164.2	76.1	69.5	77.7	15.7	0.0	2.4	0.4	44.3	50.9	23.5	175.6	700.3
1971	135.5	252.4	74.3	16.9	8.2	0.0	0.0	2.2	0.0	47.6	23.8	48.8	609.7
1972	148.6	77.2	36.0	22.0	0.0	0.0	1.0	4.0	4.8	22.4	77.8	84.4	478.2
1973	128.2	92.2	69.2	54.4	5.4	0.0	0.0	10.6	52.2	26.0	24.6	38.4	501.2
1974	140.1	116.0	55.2	22.0	0.0	2.8	0.0	9.4	8.0	25.0	20.4	69.8	468.7
1975	130.2	96.0	74.2	16.6	2.8	4.0	0.0	7.8	8.0	24.8	23.3	175.6	563.3
1976	124.3	106.4	212.3	136.6	9.0	6.0	2.0	13.95	110.8	19	27.1	132.2	899.7
1977	96.4	128.9	120.6	16.4	7.0	2.0	0.0	0.0	46.0	42.2	95.4	95.0	649.9
1978	186.5	157.3	115.7	46.2	4.1	4.9	0.0	0.0	18.6	25.2	160.1	234.8	953.4
1979	226.0	55.9	77.3	99.0	8.4	0.0	0.0	0.0	11.7	57.9	26.9	133.3	696.4
1980	114.5	77.7	112.5	23.6	1.8	3.4	3.6	5.0	27.0	82.1	36.4	59.6	547.2
1981	195.8	90.4	131.6	72.6	7.6	0.0	0.0	9.9	25.5	70.8	41.3	93.6	739.1
1982	120.3	70.1	78.0	48.8	0.0	0.0	0.0	7.0	54.1	34.2	153.9	42.4	608.8
1983	89.2	83.3	45.1	49.8	7.2	0.0	2.0	9.7	5.0	36.1	15.6	53.9	396.9
1984	249.3	188.3	90.5	24.8	6.0	1.3	3.2	18.9	9.4	67.3	147.7	154.6	961.3
1985	122.8	137.5	96.8	85.4	8.3	10.8	0.0	0.0	40.1	26.5	130.9	223.1	882.2
1986	101.2	192.2	162.5	94.1	8.7	0.0	2.3	5.0	32.5	0.0	78.4	111.6	788.5
1987	199.6	101.0	59.2	55.9	2.0	6.2	24.1	3.4	2.2	42.2	95.7	53.0	644.5
1988	122.7	112.7	101.3	90.1	19.2	0.0	0.0	0.0	3.0	40.4	3.8	123.2	616.4
1989	112.8	166.1	89.2	67.2	2.0	10.0	0.0	13.1	18.9	33.8	55.3	57.1	625.5
1990	136.8	63.7	24.0	27.2	2.0	55.2	0.0	0.0	12.7	79.6	83.8	67.9	552.9
1991	129.2	83.6	139.2	61.6	9.6	32.0	3.0	0.0	13.0	32.2	83.3	116.3	703.0
1992	188.3	91.4	45.8	19.2	0.0	6.3	2.0	37.7	10.8	33.0	41.4	111.7	587.6
1993	157.0	56.3	83.7	37.2	11.4	2.0	6.3	19.4	24.8	54.9	75.9	104.3	633.2
1994	104.0	94.3	91.8	71.0	18.2	3.1	0.0	4.0	7.1	22.7	64.5	110.2	590.9
1995	154.5	171.8	110.1	17.9	0.0	0.0	0.0	0.0	8.0	12.8	38.3	96.2	609.6
1996	153.9	70.1	68.8	34.9	18.7	0.0	3.0	8.5	8.1	29.9	104.2	71.4	571.5
1997	181.6	109.2	207.2	38.3	3.2	0.0	0.0	3.0	29.4	33.8	80.1	42.5	728.3
1998	96.2	96.4	106.4	39.2	0.0	3.0	0.0	0.0	0.0	54.1	64.4	41.6	501.3
1999	83.6	50.5	125.2	42.7	21.3	0.0	0.0	0.0	35.7	34.5	35.9	92.9	522.3
2000	119.8	98.1	81.4	9.1	0.0	19.4	0.0	10.6	20.2	110.8	20.5	108.6	598.5
2001	173.0	109.2	163.2	19.5	26.3	3.2	10.3	7.5	21.4	61.3	57.0	87.0	738.9
2002	90.3	120.9	104.5	42.5	5.7	4.4	16.5	4.9	27.9	90.0	58.0	125.7	691.3
2003	225.1	102.3	108.2	43.4	4.6	9.1	0.0	10.0	30.5	73.2	68.0	117.4	791.8
2004	281.7	129.1	97.2	56.7	25.2	1.8	2.8	16.6	28.1	39.4	65.4	123.5	867.5
2005	98.6	224.2	84.6	27.9	2.3	0.0	1.2	1.0	10.4	80.1	94.8	78.2	703.3
2006	203.9	61.9	57.0	69.2	0.0	0.0	0.0	6.6	31.5	62.0	82.8	134.1	709.0
2007	104.0	37.6	119.1	57.9	21.4	0.0	0.0	0.0	24.4	12.6	50.8	75.4	503.2
2008	132.8	69.4	48.2	10.0	1.9	0.0	0.0	0.0	8.9	67.7	31.4	154.5	524.8
2009	77.7	100.1	49.1	26.6	0.0	0.0	3.4	0.0	20.8	18.5	69.0	85.5	450.7
2010	156.2	112.5	58.8	21.2	17.6	0	2.8	1.15	24.6	46.6	28.15	146.9	616.5
2011	168.4	282.5	143.7	86.2	0.3	1.1	3.9	2.35	22.45	34.3	47.55	185.75	978.5
2012	146.7	103.0	83.6	65.6	2.0	1.8	3.2	3.0	6.5	18.0	35.0	135.8	604.2
2013	142.5	61.7	69.9	17.7	4.4	2.8	4.0	7.6	7.7	57.3	47.9	101.2	524.7
2014	118.3	87.9	86.2	32.7	8.0	0.0	5.5	10.2	68.8	27.6	31.0	86.2	562.4
2015	144.4	76.0	83.7	63.5	13.8	1.0	6.1	14.8	56.8	22.1	64.9	134.7	681.8
2016	88.7	180.9	62.4	67.9	6.0	3.0	5.0	3.2	21.9	45.2	57.6	91.4	633.2

Fuente: SENAMHI-Puno.

SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA - SENAMHI - PUNO													
DEPARTAMENTO: PUNO		PROVINCIA: S.A. DE PUTINA				DISTRITO: PUTINA			INFORMACION: PRECIPITACION MENSUAL HISTORICA				
ESTACION: CO. 000322		LAT: 14°54'52.6"				LONG: 69°52'03.9"			ALT: 3878				
PUTINA													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1964	67.5	91.0	101.0	52.5	17.5	0.0	0.0	1.0	19.0	45.0	80.0	92.5	567.0
1965	194.5	93.5	161.0	39.5	0.0	0.0	0.0	0.5	23.0	21.5	90.2	163.3	787.0
1966	66.5	141.1	66.4	32.2	41.9	0.0	0.0	0.0	26.0	43.4	85.5	48.2	551.2
1967	41.2	85.1	152.8	10.0	26.0	0.0	3.0	29.4	84.7	77.4	25.2	111.3	646.1
1968	79.6	126.2	72.0	43.1	0.7	0.4	38.4	4.1	56.4	49.0	138.9	41.4	650.2
1969	180.8	86.5	55.6	21.1	1.0	1.2	15.5	0.0	31.3	33.9	88.6	102.6	618.1
1970	105.0	99.8	92.6	33.1	22.5	0.0	0.0	0.0	61.4	40.3	20.7	184.4	659.8
1971	180.8	184.4	49.5	19.0	2.0	0.7	0.0	5.6	3.8	42.1	48.1	60.6	596.6
1972	155.6	119.0	77.7	46.6	6.0	0.0	1.0	13.8	28.6	43.9	105.1	77.8	675.1
1973	131.9	122.2	100.7	100.5	11.7	3.4	6.2	7.9	49.8	59.9	70.4	90.7	755.3
1974	137.1	144.8	93.6	47.5	0.6	4.8	1.4	19.8	33.4	58.3	51.0	104.7	697.0
1975	115.6	110.3	77.5	28.8	20.5	10.5	0.0	0.5	21.4	42.8	49.3	135.6	612.8
1976	151.7	97.3	86.6	32.3	14.0	8.0	1.5	19.1	76.3	3.7	26.2	76.7	593.4
1977	70.0	168.2	111.8	15.4	10.0	0.0	0.1	0.0	42.8	34.5	97.1	85.6	635.5
1978	117.2	117.4	95.3	58.3	5.3	3.6	0.3	0.3	27.8	23.5	117.3	158.1	724.4
1979	240.1	76.3	82.4	108.6	4.6	0.0	1.5	8.2	11.4	82.0	40.4	97.0	752.5
1980	121.5	55.4	114.4	15.2	11.9	3.0	15.3	4.6	52.9	91.7	33.8	57.4	577.1
1981	236.0	90.5	92.5	77.8	3.3	3.7	0.0	15.9	33.9	83.4	48.3	107.2	792.5
1982	211.4	109.9	99.5	73.8	0.0	0.0	0.8	12.9	59.3	43.0	123.1	65.5	799.2
1983	104.6	81.1	44.4	65.1	10.4	2.0	4.6	1.6	16.8	6.7	36.2	92.2	465.7
1984	291.6	217.3	98.3	34.6	6.8	5.3	2.2	22.5	0.6	81.8	98.0	108.1	967.1
1985	132.5	121.7	87.7	109.0	20.2	2.8	0.0	4.7	35.3	44.3	127.9	167.4	853.5
1986	107.1	146.9	90.4	142.6	13.7	0.0	2.4	7.9	49.7	14.4	86.7	142.6	804.4
1987	142.8	65.4	62.3	34.9	2.5	3.1	29.0	6.0	3.6	47.5	98.6	34.5	530.2
1988	120.6	66.0	202.1	91.9	14.0	0.0	0.0	5.3	8.9	45.9	9.3	137.4	701.4
1989	175.3	90.8	129.5	58.5	0.0	7.5	0.0	9.0	36.3	29.6	32.4	72.9	641.8
1990	179.0	60.1	75.9	25.7	5.8	61.0	0.0	1.8	17.3	109.0	84.0	103.7	723.3
1991	164.8	106.1	134.9	51.0	5.7	45.0	6.8	0.8	14.9	24.8	64.7	108.7	728.2
1992	153.6	55.3	49.7	25.2	0.0	4.2	4.0	72.5	20.8	44.5	66.3	123.7	619.8
1993	174.4	67.1	75.3	90.8	11.4	0.0	2.1	17.0	24.2	67.3	114.2	124.2	768.0
1994	170.8	112.6	113.7	72.4	17.8	5.2	0.0	24.8	27.0	61.9	152.2	142.5	900.9
1995	102.5	126.5	135.3	10.5	0.5	0.0	3.4	0.0	5.2	15.5	67.6	89.4	556.4
1996	118.6	66.8	113.5	37.3	22.6	0.0	0.9	6.9	20.8	19.9	111.6	95.7	614.6
1997	215.2	90.5	182.9	86.8	4.2	0.0	1.1	21.4	22.9	42.4	112.8	59.9	840.1
1998	125.6	105.7	92.8	32.9	0.0	12.0	0.0	1.6	0.5	66.9	89.4	24.6	552.0
1999	104.1	68.9	162.3	25.6	17.8	0.0	0.7	0.0	45.1	53.8	36.4	68.9	583.6
2000	158.0	121.4	93.7	13.1	1.7	21.4	0.0	13.0	12.2	112.3	25.0	105.0	676.8
2001	206.5	124.2	206.5	46.5	34.8	3.0	4.1	9.8	25.8	71.6	47.1	91.4	871.3
2002	125.5	130.5	110.6	53.3	14.6	1.0	16.7	5.8	21.8	128.4	71.6	100.6	780.4
2003	149.9	95.3	109.4	58.9	4.7	5.7	0.6	5.0	7.8	32.9	42.4	118.2	630.8
2004	227.4	93.9	47.7	22.8	15.9	1.6	2.8	16.5	39.6	17.0	62.6	71.5	619.3
2005	62.5	171.8	78.5	28.6	0.3	0.0	0.0	5.0	19.6	59.8	34.3	84.5	544.9
2006	164.8	39.6	56.1	64.4	2.2	4.7	0.0	2.3	20.1	45.3	65.2	82.3	547.0
2007	96.6	50.6	164.4	74.4	19.2	2.1	0.0	0.0	46.3	21.8	57.1	68.4	600.9
2008	110.1	79.4	69.7	3.2	6.0	0.0	0.0	0.0	15.5	51.1	77.1	140.0	552.1
2009	103.4	83.1	63.5	8.6	8.0	0.0	2.4	0.0	13.6	27.8	86.6	89.9	486.9
2010	178.2	116.5	104.9	29.3	12.1	0.0	0.6	2.3	0.0	43.7	20.9	101.4	609.9
2011	130.6	173.7	82.2	54.0	0.4	0.0	4.1	7.2	53.3	56.6	26.4	119.7	708.2
2012	107.9	118.4	92.0	41.4	14.4	0.0	4.2	4.7	8.7	26.5	37.3	152.2	607.7
2013	164.3	181.8	98.0	20.0	40.9	2.9	5.9	9.1	1.8	89.8	42.4	124.1	781.0
2014	152.4	105.5	89.1	55.4	6.3	0.0	5.6	11.8	58.3	43.4	28.2	87.2	643.2
2015	172.1	51.4	74.5	71.7	11.0	1.3	6.6	17.3	49.7	78.0	49.0	140.5	723.1
2016	72.6	105.9	99.5	48.0	10.5	4.4	3.8	8.8	28.6	50.0	67.3	100.7	600.1

Fuente: SENAMHI-Puno.

ANEXO 3 TABLAS “B.2” DATOS DE TEMPERATURA MEDIA.

Temperatura Media Mensual(°C)- Estación:							ANANEA						
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
2000	4.7	5.0	5.1	4.9	4.3	3.3	2.4	2.8	4.0	4.5	5.2	5.5	4.3
2001	5.5	5.8	6.0	6.2	4.8	3.0	1.8	2.3	4.4	5.7	5.8	6.2	4.8
2002	5.6	6.3	6.9	6.1	4.5	2.9	2.0	2.9	3.6	4.4	4.6	5.4	4.6
2003	5.2	5.2	4.7	5.1	4.4	3.5	3.2	3.1	3.6	4.8	4.8	5.4	4.4
2004	4.5	4.9	5.5	5.3	4.5	2.8	2.3	3.0	2.9	4.5	5.0	4.6	4.2
2005	5.2	5.1	5.4	5.5	5.0	3.4	3.0	3.6	3.8	4.7	5.1	4.7	4.5
2006	4.7	5.3	5.1	4.4	3.9	3.5	2.9	3.2	3.4	3.8	4.2	4.0	4.0
2007	4.2	5.3	4.5	4.4	3.2	3.3	3.2	3.9	2.6	4.1	4.5	4.1	3.9
2008	3.8	3.7	4.0	4.2	3.3	3.2	3.1	3.9	3.4	4.1	4.1	3.9	3.7
2009	3.9	4.2	3.9	4.0	4.3	3.1	3.4	3.4	4.1	4.4	4.1	4.4	3.9
2010	4.4	5.0	4.7	4.6	4.6	4.4	3.0	3.7	4.3	4.4	4.6	4.6	4.4
2011	4.7	5.0	5.1	4.9	4.3	3.3	2.9	3.3	3.6	4.4	4.6	4.6	4.2
2012	4.1	3.9	6.3	5.3	3.7	2.8	1.4	1.8	4.0	5.5	6.0	6.1	4.2
2013	5.5	6.1	5.7	5.5	4.2	2.5	2.6	1.7	2.4	4.5	6.1	6.1	4.4
2014	5.4	6.0	6.9	5.9	4.3	2.8	2.0	2.1	3.0	4.7	6.0	6.0	4.6
2015	4.5	5.1	4.6	4	3.9	4.9	2.9	3.9	4.9	4.8	5.5	5	4.5
2016	5.3	5.1	5.3	5.0	4.2	3.3	2.6	3.0	3.6	4.6	5.0	5.0	4.3

Fuente: SENAMHI-Puno.

Temperatura Media Mensual(°C)- Estación:							COJATA						
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
2000	6.6	6.6	6.4	5.3	3.2	1.3	1.0	1.8	4.0	4.5	5.2	5.5	4.3
2001	5.5	5.8	8.0	6.2	4.2	2.0	0.8	1.3	4.4	5.7	5.8	6.2	4.7
2002	6.9	7.3	6.9	6.1	4.5	1.9	1.0	1.4	4.0	5.8	6.5	7.6	5.0
2003	7.1	6.9	6.4	5.3	3.4	1.7	0.9	1.6	3.6	4.0	6.2	6.4	4.5
2004	6.5	6.4	5.7	6.0	2.9	1.4	-0.2	1.0	4.1	5.7	6.5	6.9	4.4
2005	7.1	7.5	7.3	4.8	4.1	-0.3	0.5	1.2	3.1	6.1	7.0	6.3	4.6
2006	6.8	7.1	6.2	4.7	3.2	1.7	-0.9	1.9	2.7	5.2	6.4	6.9	4.3
2007	7.2	6.7	6.0	5.8	4.9	1.8	1.2	1.6	4.2	4.7	6.0	5.9	4.7
2008	6.1	5.8	5.3	4.3	2.1	0.9	1.0	1.2	2.8	5.1	6.0	6.6	3.9
2009	6.3	6.3	6.0	4.3	2.6	-0.1	0.8	1.2	3.5	5.1	6.3	6.7	4.1
2010	6.5	6.4	6.6	5.4	3.3	1.2	0.6	1.4	3.6	5.2	6.2	6.5	4.4
2011	5.7	5.0	6.3	5.3	3.7	1.8	1.0	1.8	4.0	5.5	6.0	6.1	4.3
2012	6.5	6.1	5.7	5.5	4.2	1.9	0.6	0.7	2.4	4.5	6.1	6.6	4.2
2013	6.4	7.0	6.9	5.9	4.3	1.7	1.0	1.1	3.0	4.7	6.0	6.0	4.5
2014	6.1	6.5	6.6	6.1	4.7	1.9	1.2	1.5	5.0	5.1	5.5	5.6	4.7
2015	6.1	6.9	6.3	6.1	4.2	2.2	1.0	1.7	4.9	4.7	6.9	6.7	4.8
2016	7.6	6.5	6.4	5.4	3.7	1.4	0.7	1.4	3.7	5.1	6.2	6.4	4.6

Fuente: SENAMHI-Puno.

Temperatura Media Mensual(°C)- Estación:							AZANGARO						
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1964	10.6	10.8	9.9	9.6	7.2	5.0	4.5	6.9	8.1	9.4	8.7	9.3	8.3
1965	9.2	9.9	9.4	9.2	7.3	4.7	5.3	6.7	8.8	10.7	11.1	10.6	8.6
1966	11.0	10.4	9.6	8.4	7.0	5.4	5.4	7.4	8.8	10.7	10.7	10.6	8.8
1967	10.6	9.7	9.8	8.8	7.8	6.1	5.5	6.9	9.0	9.6	10.4	9.3	8.6
1968	9.3	9.7	9.0	8.5	6.3	5.3	4.6	7.2	8.4	10.3	9.3	10.2	8.2
1969	10.1	10.2	10.3	10.0	7.9	5.4	5.5	5.6	8.5	10.4	10.9	10.5	8.8
1970	10.2	10.3	9.7	9.1	7.7	6.6	5.6	7.1	8.7	9.7	10.5	10.1	8.8
1971	10.3	10.0	10.7	10.1	6.5	5.8	4.5	6.6	8.4	8.8	9.5	9.7	8.4
1972	9.1	9.1	9.5	9.5	6.8	4.8	5.8	6.8	8.7	10.4	11.3	10.8	8.6
1973	10.8	11.0	10.5	10.2	8.1	5.4	5.4	7.3	8.7	10.5	10.5	9.9	9.0
1974	9.3	9.6	9.4	8.7	7.1	5.7	5.5	6.0	8.3	10.1	9.9	10.5	8.3
1975	9.0	9.6	9.3	9.3	7.6	6.0	4.0	6.2	8.9	9.1	10.2	9.6	8.2
1976	9.0	9.2	9.8	8.5	6.5	5.1	5.0	6.0	7.8	9.1	10.1	10.5	8.1
1977	10.9	9.9	9.9	9.0	6.6	5.1	6.1	6.3	8.7	9.2	10.4	10.3	8.5
1978	10.2	10.6	9.7	9.5	6.8	6.0	5.0	6.2	8.0	9.3	9.6	10.0	8.4
1979	9.6	10.5	9.7	9.3	6.9	6.4	6.8	6.4	7.4	9.6	9.4	10.1	8.5
1980	10.3	10.5	9.8	8.9	6.2	6.1	6.5	7.2	7.6	10.1	9.4	9.9	8.5
1981	10.2	9.7	9.3	8.7	8.0	4.9	5.4	6.0	6.8	9.7	10.7	10.5	8.3
1982	10.5	9.2	7.6	6.4	4.4	4.1	7.4	5.4	8.3	9.8	10.1	11.0	7.9
1983	11.5	11.1	10.6	10.0	8.1	5.5	6.0	7.5	8.6	9.9	10.5	10.1	9.1
1984	8.6	9.1	9.6	8.5	6.9	5.5	4.6	6.3	7.2	11.7	11.2	11.2	8.4
1985	10.6	9.8	9.9	9.1	7.0	5.5	3.9	4.9	8.0	8.4	8.6	9.2	7.9
1986	9.7	9.3	9.6	9.0	7.0	4.8	5.4	5.7	8.3	9.8	10.0	10.2	8.2
1987	9.9	11.0	11.0	10.0	7.2	6.9	5.1	6.0	8.5	9.6	10.8	10.7	8.9
1988	9.9	9.9	10.0	8.8	6.8	3.8	3.8	5.0	8.2	9.4	9.7	9.3	7.9
1989	8.9	8.7	8.6	8.0	5.4	4.5	3.4	5.4	7.7	9.0	8.8	9.7	7.3
1990	9.2	8.9	8.6	7.9	6.2	4.5	3.7	4.9	7.0	9.0	9.8	8.6	7.4
1991	9.2	8.7	9.0	7.7	5.1	3.8	3.3	4.9	8.0	8.3	8.5	9.2	7.1
1992	8.9	9.5	10.3	9.0	7.1	6.0	6.4	5.7	7.1	8.4	8.7	9.2	8.0
1993	9.3	9.6	9.6	9.4	7.8	5.1	6.1	6.1	8.8	9.9	10.2	10.9	8.6
1994	10.4	10.4	9.6	9.6	7.4	4.8	5.2	6.2	8.8	9.7	11.0	10.8	8.7
1995	10.8	10.3	10.1	9.4	7.3	5.4	6.0	9.7	10.6	12.2	12.0	10.6	9.5
1996	10.6	10.4	10.8	10.3	8.0	5.3	4.9	7.5	8.5	10.5	10.1	10.7	9.0
1997	10.2	9.9	9.8	8.5	7.2	5.2	6.0	7.5	9.1	11.0	10.9	12.2	9.0
1998	12.5	12.6	12.1	11.1	7.6	7.1	6.4	8.2	9.1	10.8	10.6	11.0	9.9
1999	11.0	10.3	10.3	9.7	7.8	5.7	5.9	7.3	8.9	9.7	10.2	11.1	9.0
2000	10.4	10.0	10.0	9.3	8.2	6.2	5.6	8.1	9.4	9.8	11.1	9.9	9.0
2001	9.6	10.2	9.9	9.2	7.6	6.0	5.7	6.0	9.3	10.1	11.2	10.5	8.8
2002	10.0	10.6	10.4	9.5	8.0	6.5	5.2	7.1	9.0	9.7	10.6	10.8	9.0
2003	10.5	10.9	10.3	9.5	7.5	4.6	5.2	6.4	8.4	9.8	10.6	11.3	8.8
2004	10.2	10.5	10.4	9.5	6.3	4.9	5.0	7.0	9.4	11.2	11.9	11.6	9.0
2005	11.3	11.1	10.9	10.1	7.3	5.2	6.3	6.7	9.2	10.8	11.0	11.4	9.3
2006	10.1	11.2	10.8	9.6	6.5	6.3	5.1	8.1	9.1	10.7	11.3	11.5	9.2
2007	11.5	11.3	10.5	10.3	8.5	6.7	6.2	7.9	9.8	10.4	10.3	10.7	9.5
2008	10.4	10.4	9.5	9.0	6.1	5.8	5.0	7.3	9.1	11.0	11.8	10.6	8.8
2009	10.7	10.5	10.3	9.2	7.8	4.9	5.9	6.3	9.8	11.4	12.3	11.6	9.2
2010	11.5	11.7	11.2	10.3	8.7	7.7	6.2	7.6	9.7	11.1	11.5	11.1	9.9
2011	10.6	9.5	9.5	9.6	7.5	6.1	6.0	7.8	9.4	10.2	10.5	10.5	8.9
2012	10.1	9.5	9.5	9.0	6.6	5.8	5.6	6.4	8.5	10.6	10.9	10.3	8.6
2013	10.5	10.6	10.7	9.0	8.7	6.3	6.5	6.8	8.3	10.7	10.9	10.5	9.1
2014	10.1	10.3	10.3	9.8	7.4	6.6	6.4	7.8	9.8	9.9	10.7	10.9	9.2
2015	9.7	10.0	9.9	9.1	7.7	6.5	6.0	7.4	10.2	9.9	11.6	10.4	9.0
2016	10.9	10.1	9.9	9.2	7.2	5.6	5.4	6.7	8.6	10.0	10.4	11.4	8.8

Fuente: SENAMHI-Puno.

Temperatura Media Mensual(°C)- Estación:							HUANCANE						
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1964	10.4	10.5	9.3	8.9	6.4	4.7	4.0	6.3	7.9	9.5	9.6	9.6	8.1
1965	8.8	8.7	9.1	7.9	6.5	4.7	4.7	4.8	6.2	10.6	9.4	9.4	7.6
1966	10.1	9.1	9.0	7.3	6.0	5.6	3.5	4.9	6.2	7.5	8.7	9.0	7.2
1967	8.5	9.4	7.6	6.4	7.1	5.7	5.5	6.0	7.9	8.3	9.7	8.5	7.6
1968	8.6	9.3	8.8	7.9	5.9	6.7	5.5	5.5	6.4	8.1	8.1	7.5	7.4
1969	8.4	8.6	8.4	8.3	6.4	5.2	4.6	4.8	8.9	9.2	9.7	9.4	7.7
1970	9.1	8.7	8.4	8.2	6.7	4.7	3.8	5.3	7.1	8.5	9.2	8.6	7.4
1971	8.2	7.4	7.8	6.6	4.2	4.0	2.2	4.3	5.9	6.5	6.9	8.3	6.0
1972	7.6	7.6	7.7	7.1	4.8	3.0	4.2	5.5	6.4	10.6	10.8	10.0	7.1
1973	9.9	10.2	9.3	9.2	7.1	4.7	4.7	6.3	7.3	9.5	9.6	9.2	8.1
1974	8.6	9.3	8.6	8.2	5.7	4.8	4.6	5.4	6.8	8.4	8.7	8.8	7.3
1975	8.2	8.2	8.0	7.3	6.1	4.3	3.9	3.5	9.3	8.1	8.5	8.6	7.0
1976	8.6	8.4	8.0	8.0	5.4	3.3	4.7	5.6	8.6	10.0	10.5	10.8	7.7
1977	11.8	10.5	9.7	10.1	8.0	6.7	6.6	7.0	9.9	10.8	10.9	8.1	9.2
1978	8.1	8.4	7.6	7.5	5.8	5.6	4.6	6.2	7.7	9.3	9.4	9.8	7.5
1979	8.4	9.7	9.6	8.4	6.5	6.3	4.8	5.3	8.9	9.2	10.0	9.6	8.1
1980	10.4	9.6	9.2	8.0	6.1	5.1	5.6	6.4	8.1	9.3	9.8	9.3	8.1
1981	9.2	9.3	9.0	7.6	5.8	3.7	4.1	5.5	6.6	8.7	9.8	9.6	7.4
1982	8.9	9.2	8.9	8.2	5.5	4.8	4.5	5.8	7.2	8.9	9.8	10.6	7.7
1983	11.1	10.2	10.9	9.8	7.6	6.0	6.1	7.1	8.6	8.8	9.8	9.7	8.8
1984	8.3	8.9	9.0	8.0	6.3	5.8	4.7	5.6	6.5	8.8	9.3	9.5	7.6
1985	8.9	8.8	8.5	8.4	6.8	5.7	3.8	5.7	7.8	8.2	7.9	8.5	7.4
1986	9.1	8.5	8.5	8.8	5.4	4.6	3.8	5.4	7.1	7.8	8.7	9.1	7.2
1987	9.6	10.0	9.2	8.7	7.0	5.2	4.9	6.3	7.9	9.2	10.1	10.6	8.2
1988	9.7	10.0	9.4	8.4	7.3	4.7	4.6	6.0	8.4	9.1	9.6	9.4	8.1
1989	9.0	8.7	8.5	8.3	6.1	5.5	4.3	5.9	8.4	9.3	8.9	9.9	7.7
1990	9.2	9.1	8.7	8.2	7.2	5.4	4.4	5.9	7.9	9.4	9.5	9.2	7.8
1991	9.6	9.6	9.6	8.3	6.0	4.5	4.2	5.6	7.4	8.7	9.1	9.2	7.7
1992	8.8	9.3	9.0	8.5	6.5	5.9	4.6	5.2	7.5	8.6	9.0	9.2	7.7
1993	8.6	8.9	8.6	8.7	6.5	4.2	5.3	5.2	7.9	9.1	9.8	9.9	7.7
1994	9.2	9.2	8.4	8.7	6.2	4.0	4.4	4.9	7.7	8.8	9.8	9.8	7.6
1995	9.9	9.4	9.2	8.3	5.8	4.3	5.0	8.6	10.2	11.6	10.8	10.3	8.6
1996	10.1	10.0	10.0	9.5	7.0	4.8	4.3	6.6	7.9	9.3	9.5	9.5	8.2
1997	9.1	8.7	8.4	7.2	6.0	4.4	5.0	6.6	7.9	9.6	10.2	11.5	7.9
1998	11.5	11.8	11.0	4.1	6.5	6.1	5.2	6.9	8.0	7.4	9.6	9.8	8.2
1999	9.7	9.2	8.9	8.0	6.5	4.8	5.3	5.8	7.6	8.7	9.2	10.3	7.8
2000	9.7	9.4	9.0	8.2	6.9	5.2	4.5	6.8	8.3	8.7	9.6	9.4	8.0
2001	9.0	9.4	9.0	8.0	6.7	5.4	4.8	5.4	8.6	9.6	10.4	10.2	8.0
2002	10.1	9.9	9.8	8.9	7.3	6.0	5.2	6.6	8.2	9.1	9.7	10.0	8.4
2003	9.8	9.9	9.1	8.3	6.5	3.8	4.6	5.3	7.1	8.2	9.2	9.9	7.6
2004	9.1	9.1	8.9	9.1	5.4	3.6	4.0	5.3	7.1	8.9	9.6	9.8	7.5
2005	8.9	8.7	8.7	7.6	4.9	3.2	2.7	2.8	6.4	8.8	10.0	10.1	6.9
2006	9.2	10.1	10.1	8.4	5.7	5.3	4.0	7.0	8.0	9.8	10.0	10.7	8.2
2007	10.7	10.2	9.7	9.2	7.7	5.6	5.4	6.7	8.5	9.2	9.2	9.7	8.5
2008	9.6	9.4	8.6	7.9	5.1	4.9	4.2	5.3	7.6	9.7	10.4	9.6	7.7
2009	9.8	9.5	9.2	8.2	6.8	4.1	5.4	5.9	9.1	9.8	11.1	10.8	8.3
2010	10.5	11.0	10.0	8.9	7.4	6.4	5.1	5.9	8.1	9.8	9.7	10.1	8.6
2011	9.4	9.3	9.0	8.1	6.3	5.0	4.9	6.1	7.5	8.8	10.1	9.6	7.8
2012	9.3	8.7	8.6	8.3	5.4	4.8	4.0	4.4	7.8	9.8	10.5	10.3	7.7
2013	9.9	10.1	10.2	8.0	7.4	5.2	5.3	5.8	7.4	9.4	9.8	10.1	8.2
2014	9.6	9.7	9.6	8.7	6.6	6.0	5.5	6.1	8.7	9.0	9.9	10.4	8.3
2015	9.3	9.6	9.3	8.8	7.0	5.7	4.9	6.0	8.2	8.5	10.4	10.2	8.2
2016	10.5	9.4	9.0	8.1	6.3	5.0	4.6	5.8	7.8	9.0	9.6	9.6	7.9

Fuente: SENAMHI-Puno.

Temperatura Media Mensual(°C)- Estación:							HUARAYA MOHO						
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1964	10.6	10.6	9.6	9.3	7.5	6.3	6.2	8.2	8.6	9.5	9.3	9.3	8.8
1965	8.8	9.6	8.9	8.8	8.0	6.2	4.7	7.5	9.5	10.6	9.4	9.8	8.5
1966	10.6	10.3	9.6	9.2	6.0	6.9	6.8	8.5	9.1	10.3	10.2	10.2	9.0
1967	10.6	10.1	9.6	9.1	8.4	5.7	7.0	7.5	8.5	8.3	10.3	9.1	8.7
1968	9.3	9.4	9.1	8.8	7.5	6.7	5.5	8.0	8.5	8.1	9.5	10.1	8.4
1969	9.7	10.5	10.6	10.0	8.7	7.0	6.7	7.0	8.9	10.6	11.0	10.8	9.3
1970	10.2	10.2	9.6	9.2	8.1	7.4	6.7	7.9	8.7	9.7	10.7	9.8	9.0
1971	9.8	8.9	9.7	8.5	7.1	6.9	6.0	7.2	8.5	9.2	9.5	9.8	8.4
1972	9.0	9.5	9.4	9.2	7.5	6.1	7.1	8.1	9.5	10.6	10.7	10.6	8.9
1973	10.9	11.1	10.5	9.8	8.6	7.2	6.8	8.3	9.0	10.3	10.6	10.4	9.5
1974	9.1	9.3	9.7	9.0	8.0	4.8	7.0	7.0	8.4	10.2	10.4	10.0	8.6
1975	9.5	9.7	9.8	9.8	8.3	7.6	5.8	7.8	9.3	9.5	10.3	9.5	8.9
1976	9.1	10.1	9.6	8.7	8.1	6.8	7.1	7.7	8.6	10.0	10.5	10.8	8.9
1977	11.1	10.2	10.4	9.5	7.8	6.0	7.8	8.0	9.2	9.6	10.0	9.4	9.1
1978	9.3	10.0	9.0	8.7	7.6	6.7	5.6	6.9	8.0	9.3	9.4	9.6	8.3
1979	9.1	10.1	9.6	8.9	7.2	7.4	6.4	5.3	8.9	9.3	10.4	9.6	8.5
1980	10.5	10.3	9.4	8.7	7.4	7.0	7.0	7.4	8.2	9.8	10.1	9.7	8.8
1981	9.4	9.6	9.2	8.6	7.1	6.1	6.5	6.9	7.5	9.4	10.5	10.3	8.4
1982	9.5	10.4	9.7	8.6	7.0	6.5	6.0	6.8	8.0	9.2	10.0	10.3	8.5
1983	11.3	10.6	11.0	9.9	8.5	7.4	7.3	8.2	9.3	9.4	10.4	10.3	9.5
1984	8.8	8.9	9.0	8.6	7.5	7.0	6.2	7.1	8.0	9.3	9.6	9.3	8.3
1985	9.4	9.2	9.2	8.9	7.8	6.3	5.4	7.2	8.5	9.0	8.3	8.8	8.2
1986	9.7	8.8	8.7	8.9	5.4	6.2	5.1	6.8	8.0	8.9	9.6	9.6	8.0
1987	10.0	10.0	9.5	9.5	8.4	6.8	6.0	7.5	9.1	9.7	10.2	10.6	8.9
1988	9.7	10.3	9.8	9.0	7.9	6.2	5.8	7.1	8.8	9.6	10.1	9.6	8.7
1989	9.2	8.9	8.6	8.3	6.9	6.8	5.6	7.0	9.0	9.4	9.2	10.3	8.3
1990	9.3	9.3	9.1	8.7	8.1	5.4	5.4	7.0	8.4	9.3	9.7	9.5	8.3
1991	9.8	9.2	9.4	8.3	7.1	5.5	5.6	6.3	7.7	9.0	9.3	9.5	8.1
1992	9.1	9.5	9.3	9.1	7.8	6.5	5.3	6.0	8.2	8.6	9.5	9.2	8.2
1993	8.8	9.2	8.6	8.6	7.3	5.3	6.3	6.1	8.4	9.3	9.8	9.9	8.1
1994	9.3	9.3	8.6	8.7	7.0	5.5	5.7	6.5	8.2	9.4	10.0	9.8	8.2
1995	10.1	9.7	9.2	8.6	6.9	5.4	6.6	8.9	9.5	10.8	10.6	9.8	8.8
1996	9.6	9.3	10.1	9.1	7.1	5.4	5.6	8.0	8.0	9.5	9.2	9.3	8.4
1997	9.2	8.9	8.6	7.3	6.5	5.2	5.6	6.7	7.9	9.6	10.2	11.5	8.1
1998	11.7	11.4	10.8	10.1	7.3	7.0	8.1	7.9	9.0	10.1	10.2	10.5	9.5
1999	9.7	9.2	8.9	8.0	6.5	4.8	5.3	5.8	7.6	8.7	9.2	10.3	7.8
2000	9.5	9.4	9.3	8.5	7.2	5.8	5.6	7.3	8.6	8.5	10.1	9.3	8.3
2001	8.8	9.3	9.0	8.4	7.5	6.2	5.9	6.3	8.7	9.7	10.7	9.8	8.4
2002	9.8	9.7	9.6	8.9	7.7	6.9	5.9	7.1	8.5	9.1	9.7	10.2	8.6
2003	9.7	10.1	9.3	8.8	7.4	5.3	6.2	6.7	7.9	9.3	10.2	10.4	8.4
2004	9.6	9.8	9.6	9.3	7.2	5.5	5.8	6.5	8.1	10.4	10.7	10.7	8.6
2005	10.4	10.0	9.7	9.2	7.4	5.7	6.6	6.7	8.8	9.9	9.9	10.2	8.7
2006	9.3	10.1	9.7	8.4	6.3	6.3	5.2	7.7	8.6	9.8	10.0	10.6	8.5
2007	10.6	10.2	9.7	9.0	7.9	6.5	6.1	7.5	8.2	9.3	9.3	9.7	8.7
2008	9.7	9.4	8.6	8.2	6.3	6.1	5.4	6.6	8.2	9.5	10.5	9.6	8.2
2009	10.0	9.5	9.1	8.2	7.0	5.3	6.6	6.4	9.1	10.1	10.7	10.6	8.6
2010	10.5	11.0	10.0	8.9	7.4	6.4	5.1	5.9	8.1	9.8	9.7	10.1	8.6
2011	9.8	9.8	9.5	8.9	7.4	5.0	6.2	7.6	8.5	9.6	10.4	9.8	8.5
2012	9.5	9.1	9.1	8.7	6.9	6.3	6.1	6.3	8.4	10.0	10.6	10.1	8.4
2013	9.5	10.0	10.2	8.4	7.9	6.3	6.4	6.8	8.5	10.0	11.0	10.2	8.8
2014	9.9	10.4	9.7	9.1	7.8	7.5	6.9	7.0	9.0	9.1	10.3	10.9	9.0
2015	9.3	9.9	9.8	8.9	7.9	6.7	6.5	7.1	9.3	9.5	10.7	10.5	8.8
2016	11.0	9.8	9.5	8.9	7.4	6.3	6.2	7.1	8.6	9.6	10.0	10.6	8.7

Fuente: SENAMHI-PUNO.

Temperatura Media Mensual(°C)- Estación:							MUÑANI						
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1964	10.5	10.6	9.5	9.1	7.0	5.5	5.1	7.3	8.3	9.5	9.5	9.5	8.4
1965	8.8	9.2	9.0	8.4	7.3	5.5	4.7	6.2	7.9	10.6	9.4	9.6	8.0
1966	7.8	8.2	8.7	7.5	6.6	5.1	5.1	6.7	7.4	9.2	9.0	9.1	7.5
1967	9.3	8.3	8.5	7.8	6.7	5.7	5.1	6.5	7.4	8.0	8.9	8.5	7.6
1968	8.5	8.6	8.0	7.4	6.4	5.7	4.8	6.1	6.4	6.9	6.8	7.5	6.9
1969	7.3	7.8	7.5	6.9	5.6	4.2	4.1	4.3	7.1	7.2	7.4	7.8	6.4
1970	7.6	8.3	7.1	6.8	6.8	6.8	5.1	6.9	7.1	8.7	9.7	9.9	7.6
1971	9.7	8.3	8.2	9.0	6.7	6.6	5.4	7.8	9.7	8.9	9.1	9.1	8.2
1972	8.4	8.9	8.7	8.9	7.4	5.9	6.8	8.2	8.8	9.4	9.8	10.5	8.5
1973	10.9	11.1	10.7	10.3	8.1	6.0	7.2	8.0	8.5	9.5	9.6	9.7	9.1
1974	9.3	9.4	9.3	9.7	8.0	7.6	6.9	9.5	9.0	9.8	9.3	9.8	9.0
1975	9.2	10.0	9.8	9.6	8.1	6.0	4.9	5.7	9.0	9.7	9.8	9.6	8.4
1976	9.9	9.9	9.9	9.6	9.0	5.1	5.9	6.7	8.6	10.0	10.5	10.8	8.8
1977	11.5	10.4	9.3	8.9	6.9	5.8	6.7	7.5	8.7	9.1	9.6	9.4	8.6
1978	9.6	9.8	8.8	8.8	6.7	6.1	5.5	7.0	8.3	9.1	9.4	9.3	8.2
1979	8.7	10.0	9.5	8.8	7.2	7.5	6.4	7.1	9.2	9.6	10.3	9.4	8.6
1980	10.2	10.1	9.3	8.9	7.3	7.1	6.8	8.0	8.5	9.6	10.2	9.7	8.8
1981	9.4	9.2	9.4	8.6	8.0	5.9	6.9	7.5	8.0	9.5	10.6	10.4	8.6
1982	9.3	9.5	10.0	8.9	6.9	7.0	7.7	7.7	8.3	9.7	10.1	11.1	8.9
1983	11.5	11.2	11.6	10.8	9.1	7.7	8.0	9.5	9.9	10.4	11.2	10.5	10.1
1984	9.4	9.7	10.1	9.7	8.7	6.4	5.5	7.6	8.8	9.7	9.5	9.4	8.7
1985	9.7	9.7	9.5	9.3	8.5	7.5	6.3	7.9	9.0	9.4	9.1	9.3	8.8
1986	9.5	9.2	9.2	9.6	7.2	7.0	5.8	6.6	8.3	7.9	8.3	8.2	8.1
1987	8.7	8.9	7.9	7.9	7.1	5.7	4.7	6.2	7.3	8.2	8.0	11.3	7.7
1988	10.3	10.7	10.0	9.5	8.3	6.7	6.4	7.9	9.5	10.2	10.2	9.6	9.1
1989	9.0	9.2	9.0	9.2	7.9	7.4	6.2	7.1	9.4	10.0	9.6	10.4	8.7
1990	9.8	9.9	9.8	9.4	8.7	6.5	6.5	7.2	8.9	10.3	10.2	10.2	9.0
1991	10.2	10.2	10.2	9.4	8.2	6.6	6.3	7.4	8.4	9.8	10.0	10.1	8.9
1992	9.5	10.4	10.4	9.8	8.8	7.4	6.3	6.1	8.0	9.0	9.2	9.4	8.7
1993	8.7	9.0	8.6	8.7	8.0	6.1	6.4	6.5	8.2	9.4	9.6	9.9	8.3
1994	9.4	9.6	9.1	9.2	8.1	5.8	6.4	7.4	8.7	9.5	10.2	10.1	8.6
1995	9.9	9.9	9.5	9.4	8.1	6.5	7.0	9.1	9.8	10.9	10.6	9.4	9.2
1996	9.3	9.5	9.7	9.5	8.5	6.5	6.3	7.7	9.1	10.4	9.4	9.8	8.8
1997	9.1	9.2	9.1	8.1	7.5	6.4	6.9	8.0	9.4	10.2	10.9	11.7	8.9
1998	10.6	10.0	11.5	11.0	8.5	7.5	7.8	9.0	10.0	10.2	10.6	10.5	9.8
1999	9.7	9.2	8.9	8.0	6.5	4.8	5.3	5.8	7.6	8.7	9.2	10.3	7.8
2000	9.2	8.9	8.8	8.8	8.3	6.3	6.1	7.9	9.2	8.4	10.4	8.9	8.4
2001	8.5	8.8	8.5	8.5	7.3	6.0	5.8	6.4	9.0	9.0	9.7	9.9	8.1
2002	9.9	9.8	9.8	9.2	8.5	7.7	5.9	7.9	9.4	9.7	10.4	10.5	9.1
2003	10.0	10.2	9.5	9.1	8.1	6.2	6.2	6.4	7.9	9.4	9.7	10.1	8.6
2004	9.0	10.0	11.5	9.7	8.0	6.4	7.0	7.6	9.0	10.4	11.0	10.4	9.2
2005	10.3	9.9	10.4	9.9	8.5	6.6	7.2	7.6	8.9	10.1	10.2	10.5	9.2
2006	9.0	10.5	10.2	9.4	7.4	7.2	6.3	8.6	9.0	10.1	10.4	10.5	9.1
2007	10.9	11.0	9.9	9.8	8.8	7.8	7.3	8.7	9.0	10.1	10.5	10.0	9.5
2008	9.5	9.6	9.0	9.4	7.4	7.4	6.9	8.2	9.5	10.3	10.9	10.0	9.0
2009	10.2	9.8	9.8	9.1	8.5	6.5	6.5	9.1	9.3	10.6	11.2	10.9	9.3
2010	10.5	11.0	10.0	8.9	7.4	6.4	5.1	5.9	8.1	9.8	9.7	10.1	8.6
2011	9.6	9.6	9.2	8.5	6.9	5.0	5.6	6.9	8.0	9.2	10.3	9.7	8.2
2012	9.7	9.0	9.7	9.2	8.1	7.1	7.3	7.7	9.3	11.3	11.4	10.6	9.2
2013	10.4	10.3	10.8	9.3	9.0	7.3	7.4	8.2	9.6	10.9	11.1	10.6	9.6
2014	10.2	10.1	10.1	10.0	8.6	8.6	7.5	8.2	9.7	9.9	11.0	10.7	9.6
2015	9.6	10.2	10.4	9.8	9.0	8.3	7.7	8.5	10.4	10.4	11.5	10.8	9.7
2016	11.3	11.6	11.8	10.0	8.8	7.6	7.9	8.7	9.1	10.0	10.6	10.8	9.8

Fuente: SENAMHI-Puno.

Temperatura Media Mensual(°C)- Estación:							PUTINA						
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1964	8.8	8.7	7.9	6.3	4.5	3.0	2.0	4.2	5.6	7.0	7.5	8.6	6.2
1965	9.5	9.6	8.6	7.8	4.8	2.5	2.5	4.0	5.8	7.0	7.0	8.8	6.5
1966	8.5	8.2	7.2	5.8	4.6	3.0	2.7	4.9	6.8	9.2	8.2	9.6	6.6
1967	9.2	8.7	8.9	7.5	6.0	3.2	2.9	3.9	6.5	7.6	8.2	8.5	6.8
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	6.6
1969	8.8	8.8	8.7	7.6	5.2	3.4	2.4	2.8	5.4	7.6	8.6	8.6	6.5
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	7.0
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	6.1
1972	8.2	8.0	8.9	7.5	4.1	2.7	2.8	4.4	6.0	8.0	9.9	9.4	6.7
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	7.4
1974	8.5	8.9	7.9	7.4	4.5	3.6	2.8	3.1	5.5	7.8	7.8	8.3	6.3
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	6.6
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	6.6
1977	9.8	9.2	9.5	7.6	4.8	2.5	3.8	4.1	7.1	7.7	9.1	8.8	7.0
1978	9.1	9.8	8.7	8.3	4.8	3.6	2.2	4.3	6.3	7.8	8.7	9.6	6.9
1979	8.6	9.5	9.5	7.6	4.7	3.9	2.9	4.5	6.8	8.5	8.9	9.0	7.0
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	7.3
1981	9.6	9.1	9.3	7.6	5.1	3.3	3.1	4.5	6.1	8.5	9.9	9.5	7.1
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	7.1
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	7.7
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	7.2
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	7.2
1986	8.8	8.7	8.9	8.5	3.9	3.5	2.3	4.2	7.1	7.7	9.2	9.9	6.9
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	7.5
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	7.7
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	8.0
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	7.2
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	7.0
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	7.2
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	7.5
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	8.4
1995	11.3	10.1	9.3	7.6	4.8	3.3	3.1	4.2	6.6	7.8	8.4	7.9	7.0
1996	8.5	8.7	8.5	8.0	5.5	3.3	2.5	3.6	5.7	6.7	7.4	8.7	6.4
1997	8.8	8.2	7.6	5.9	5.0	3.3	2.8	4.1	6.9	8.9	9.2	9.7	6.7
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	7.5
1999	8.7	8.3	8.2	7.1	5.0	3.1	2.7	4.1	5.5	7.1	7.2	8.5	6.3
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	5.9
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	6.5
2002	10.0	10.6	10.4	9.5	8.0	6.5	5.2	7.7	9.0	9.1	10.2	9.9	8.8
2003	9.7	9.7	8.7	8.6	7.4	4.8	5.2	6.4	7.8	9.4	10.1	10.5	8.2
2004	10.2	10.5	10.4	9.5	6.3	4.9	5.0	6.5	8.2	10.1	10.7	10.5	8.6
2005	9.8	9.8	10.0	9.2	6.9	5.0	5.9	5.7	8.1	9.7	10.1	9.9	8.3
2006	8.9	10.1	10.3	9.6	6.5	6.3	5.1	8.1	9.1	9.7	10.0	10.7	8.7
2007	11.0	10.4	9.9	9.6	8.4	6.5	6.3	7.4	8.9	10.0	9.6	9.8	9.0
2008	10.4	9.6	8.8	8.6	6.0	5.8	4.9	6.8	7.8	9.6	10.6	9.9	8.2
2009	10.1	10.1	9.4	8.7	7.6	4.9	6.1	6.2	9.6	10.3	11.3	10.9	8.8
2010	11.5	11.7	11.2	10.3	8.7	7.7	6.2	7.8	9.4	10.2	11.5	10.5	9.7
2011	9.6	9.5	9.5	9.6	7.5	6.1	6.0	7.8	8.9	9.7	10.5	10.6	8.8
2012	9.8	9.3	9.5	9.3	7.2	6.0	5.1	5.8	8.4	9.7	11.2	10.8	8.5
2013	10.3	9.8	10.9	8.7	8.4	6.5	5.9	6.6	8.0	10.2	10.3	10.6	8.9
2014	9.7	10.0	9.2	9.8	7.2	6.0	6.2	6.8	9.4	9.4	10.3	10.7	8.7
2015	9.5	10.1	10.0	9.3	7.9	6.5	5.8	6.9	9.4	9.3	10.6	10.6	8.8
2016	11.1	10.2	10.1	9.4	7.5	5.9	5.7	7.2	8.9	10.0	10.6	10.6	8.9

Fuente: SENAMHI-Puno.

ANEXO 4 TABLAS “B.3” DATOS DE CAUDALES.

Caudales Medios Mensuales (m3/s) - Estac							Puente Huancane						
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1964	40.61	68.55	48.98	23.64	8.11	4.40	6.59	2.66	2.66	6.67	3.43	12.71	19.1
1965	48.20	75.02	68.77	29.36	8.03	3.94	3.02	2.84	2.65	3.52	3.42	11.70	21.7
1966	34.71	70.86	48.09	22.67	7.83	4.49	3.36	1.19	0.89	3.52	3.42	11.70	17.7
1967	3.02	14.43	33.79	8.02	2.69	1.70	2.28	1.57	1.97	3.92	1.62	18.93	7.8
1968	12.21	49.05	31.92	14.85	7.21	3.90	2.95	3.22	3.30	9.49	3.43	12.58	12.8
1969	38.19	43.03	18.07	15.70	4.26	2.58	53.13	2.73	1.35	1.27	1.58	2.28	15.3
1970	25.20	80.11	55.03	50.93	11.42	4.01	2.84	2.02	3.20	2.02	1.58	22.40	21.7
1971	55.33	197.05	70.12	14.62	7.80	5.63	4.70	3.55	1.85	1.68	2.47	2.13	30.6
1972	36.48	48.97	26.88	16.74	6.01	4.21	3.40	2.43	2.47	1.98	8.80	17.88	14.7
1973	45.77	57.87	53.13	41.78	15.16	6.17	5.53	3.47	3.40	3.96	3.94	6.09	20.5
1974	62.72	103.09	62.80	24.42	8.70	5.86	4.89	5.38	5.44	3.88	3.97	11.31	25.2
1975	21.88	94.95	67.47	21.84	10.23	6.75	4.67	3.62	2.85	58.71	3.97	16.73	26.1
1976	69.56	55.44	39.61	13.19	6.80	5.05	3.14	2.58	5.83	2.39	1.16	2.65	17.3
1977	11.46	35.42	70.12	27.31	5.86	3.47	2.39	1.87	2.20	1.83	5.32	8.36	14.6
1978	36.74	71.88	56.23	23.23	8.59	3.28	2.76	1.75	1.66	1.31	4.63	46.37	21.5
1979	124.22	65.10	37.97	34.72	13.96	6.13	3.85	2.69	1.70	3.58	2.16	9.67	25.5
1980	24.08	34.52	43.72	18.79	5.26	3.16	2.46	1.61	1.74	3.58	3.47	2.54	12.1
1981	64.07	73.54	87.29	34.03	8.40	4.86	3.62	3.14	2.78	6.98	7.29	15.98	26.0
1982	99.20	28.11	68.44	36.42	11.13	6.02	4.18	3.10	5.17	5.11	17.32	18.00	25.2
1983	13.33	36.95	8.66	8.22	5.08	2.74	2.28	1.79	1.81	1.68	1.43	1.61	7.1
1984	54.73	127.87	62.35	29.98	8.70	4.55	3.43	2.73	2.47	3.77	7.95	24.60	27.8
1985	92.11	64.19	61.75	68.94	26.17	14.04	5.68	3.47	5.56	5.38	13.50	67.69	35.7
1986	115.70	89.99	127.65	48.46	28.34	8.29	4.78	3.21	3.16	2.80	2.82	37.45	39.4
1987	75.19	45.26	23.26	16.67	7.13	4.17	3.81	1.98	1.08	2.13	4.13	7.06	16.0
1988	56.00	38.83	52.83	67.55	16.88	6.33	4.03	2.43	1.85	2.39	2.78	7.02	21.6
1989	18.89	34.52	41.82	27.11	7.80	4.24	3.62	2.13	1.58	1.87	2.51	1.94	12.3
1990	20.01	16.20	10.90	6.71	4.07	3.78	2.54	1.64	1.43	2.05	13.04	17.40	8.3
1991	20.50	22.45	26.10	25.08	14.49	7.29	5.23	4.07	3.86	3.81	5.67	8.77	12.3
1992	47.23	34.76	30.28	9.38	4.52	3.40	2.43	3.73	1.62	1.68	2.47	7.99	12.5
1993	45.18	31.66	30.32	25.85	11.35	5.86	3.81	2.84	3.05	5.00	9.49	35.69	17.5
1994	48.05	86.64	47.98	59.53	19.00	7.91	5.94	3.70	2.85	3.77	7.75	21.92	26.3
1995	40.43	24.02	50.78	17.21	6.53	4.32	3.40	2.91	2.78	2.76	4.05	4.11	13.6
1996	21.54	32.41	20.39	16.71	5.75	3.43	2.39	1.90	1.74	1.90	3.67	12.58	10.4
1997	56.60	90.32	97.15	42.71	10.98	5.94	3.62	3.77	2.78	0.41	0.93	0.45	26.3
1998	9.15	21.87	30.84	20.45	5.26	3.13	2.69	2.17	1.89	2.05	3.86	6.53	9.2
1999	13.48	21.33	56.65	27.05	11.08	4.02	2.53	2.17	2.62	4.22	3.83	5.25	12.9
2000	15.27	47.10	51.99	10.86	5.11	4.30	3.02	2.36	2.13	4.30	3.23	5.95	13.0
2001	97.58	79.36	119.58	30.66	16.15	8.14	5.14	3.80	4.05	5.40	5.64	8.43	32.0
2002	19.64	73.12	82.10	36.85	14.12	4.87	4.35	3.17	4.64	10.72	12.22	40.05	25.5
2003	98.00	91.64	37.67	30.16	11.68	6.39	5.55	4.63	4.23	7.77	5.49	12.79	26.3
2004	149.64	92.19	24.94	15.59	14.25	4.69	3.89	3.35	4.49	2.56	7.43	6.42	27.5
2005	25.38	88.71	27.18	23.09	7.27	3.55	2.73	1.76	1.27	3.99	4.43	11.52	16.7
2006	78.88	37.05	40.22	27.14	9.70	5.46	3.36	1.98	3.42	5.60	10.12	21.87	20.4
2007	151.74	30.54	42.40	42.56	20.12	8.73	4.57	3.28	3.47	3.21	7.08	11.08	27.4
2008	159.23	36.33	54.68	7.30	1.36	1.82	1.97	1.39	1.60	3.58	2.67	53.45	27.1
2009	35.35	23.28	20.61	11.21	3.96	2.60	3.19	2.56	2.66	4.58	3.36	7.72	10.1
2010	74.69	44.95	35.43	20.10	3.46	2.13	1.44	1.11	1.32	1.57	1.39	10.23	16.5
2011	14.73	45.77	57.64	33.53	9.80	3.35	2.93	1.76	3.39	13.45	3.78	13.23	16.9
2012	29.26	95.95	67.21	52.53	11.28	3.90	2.59	2.81	2.63	2.39	2.19	10.22	23.6
2013	65.42	172.57	60.09	16.62	9.73	7.36	4.93	3.24	2.28	3.36	4.24	8.65	29.9
2014	43.12	91.60	46.10	39.54	25.87	8.28	2.90	2.15	2.29	2.50	1.65	3.67	22.5
2015	52.58	60.95	33.81	48.65	19.05	5.82	2.93	2.92	3.07	3.11	5.05	16.72	21.2
2016	28.21	61.52	26.46	13.52	4.71	3.05	2.86	2.48	2.30	2.69	3.26	6.61	13.1

Fuente: SENAMHI-Puno.

ANEXO 5 “C.1” MAPAS

MAPAS

T-01: Mapa ubicación de la cuenca Huancané

T-02: Plano de ubicación de estaciones climáticas