

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



**“RELACIÓN ENTRE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA
CON EL DÉFICIT DE PRESIÓN DE VAPOR INFLUENCIADA POR LA
VELOCIDAD DEL VIENTO EN LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA
PUNO”**

TESIS

PRESENTADA POR:

ANTONIO ALTIBRANDO MAMANI TORRES

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGRÍCOLA

PUNO - PERÚ

2011

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

“RELACIÓN ENTRE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA
CON EL DÉFICIT DE PRESIÓN DE VAPOR INFLUENCIADA POR LA
VELOCIDAD DEL VIENTO EN LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA
PUNO”.

TESIS PRESENTADO POR BACHILLER:

ANTONIO ALTIBRANDO MAMANI TORRES

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE: INGENIERO AGRÍCOLA

APROVADO POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

PRESIDENTE:.....

Ing. Edilberto Huaquisto Ramos

PRIMER MIEMBRO:.....

Ing. Edilberto Velarde Coaquira

SEGUNDO MIEMBRO:.....

Ing. German Belizario Quispe

DIRECTOR:.....

Dr. Eduardo Flores Condori

ASESOR:.....

Ing. Teófilo Chirinos Ortiz

ASESOR:.....

Ing. Eduardo Luis Flores Quispe



ÁREA : Ingeniería y Tecnología
TEMA: Climatología
LÍNEA: Recursos Hídricos

DEDICATORIA

A "Marisol", mi esposa y a mis hijos,
César y Sebastián
que me ha acompañado
y apoyado en este reto personal.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente doy infinitamente gracias a Dios, por haberme dado fuerza y valor para terminar estos estudios.

Agradezco también la confianza y el apoyo de mis padres y hermanos, porque han contribuido positivamente para llevar a cabo esta difícil jornada.

A todos los Ing. del FIA que me asesoraron, porque cada uno, con sus valiosas aportaciones, me ayudaron a crecer como persona y como profesional.

Finalmente, agradezco a mis compañeros, porque la constante comunicación con ellos ha contribuido en gran medida a transformar y mejorar mi forma de actuar en mi trabajo, especialmente a aquellos que me brindaron cariño, comprensión y apoyo, dándome con ello, momentos muy gratos.

INDICE

I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Planteamiento del problema	1
1.2. Justificación	3
1.3. Antecedentes	4
1.4. Objetivos	6
1.4.1. Objetivo general	6
1.4.2. Objetivos específicos.....	6
1.5. Hipótesis.....	6
1.5.1. Hipótesis general.....	6
1.5.2. Hipótesis específicas.....	7
II. REVISION DE LITERATURA	8
2.1. MARCO TEÓRICO	8
2.2. FACTORES METEOROLÓGICOS DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN.....	13
2.2.1. Radiación solar	13
2.2.2. Temperatura del aire	13
2.2.3. Humedad del aire	14
2.2.4. Velocidad del viento	14
2.3. ESTIMACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN	15
2.3.1. Temperatura y humedad del aire.....	16
2.3.2. Presión de vapor de saturación	17
2.3.3. Ley de Dalton	17
2.3.4. Radiación Solar	18
2.3.5. Viento	18
2.3.6. Evaporación.....	19
2.3.7. Transpiración.....	20
2.3.8. Evapotranspiración.....	21
2.3.9. Medición de la Evapotranspiración	23
2.4. REGRESION Y CORRELACION	40
2.4.1. Modelo de regresión múltiple.....	40
2.4.2. Estimación mínimo-cuadrática de la regresión múltiple.....	40

2.4.4. Pruebas en el análisis múltiple	42
2.4.5. Supuestos para el modelo de regresión múltiple	44
III. MATERIALES Y METODOS	46
3.1.Ámbito de estudio.....	46
3.2. Recursos	46
3.3. Información meteorológica	48
3.4. Información Cartográfica	49
3.5. Equipos	49
3.6. Metodología a emplearse	49
3.7. Calculo de Evapotranspiración potencial.....	50
3.9. Experimentación del Trabajo.....	50
3.10. Diseño Estadístico.....	51
3.11. Calibración de la relación	52
3.12. Validación de la relación.....	52
3.13. Análisis de Variancia	52
IV.RESULTADOS Y DISCUSIONES	55
4.1. Características de los elementos climáticos del Altiplano	55
4.1.1. Precipitación	55
4.1.2. Temperatura	57
4.1.3. Vientos	58
4.1.4. Humedad relativa	59
4.1.5. Presión atmosférica media	60
4.1.6. Radiación e insolación.....	60
4.1.7. Evaporación.....	61
4.1.8. Evapotranspiración potencial.....	61
4.2. Análisis estadístico de las variables climáticas.....	62
4.3. Calibración de la relación (modelo)	66
4.4. Relación estadística (modelo)	72
4.5. Validación de la relación estadística (modelo)	73
V.CONCLUSIONES	79
VII.BIBLIOGRAFÍA	81

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivos determinar qué relación existe entre el proceso evapotranspiración potencial, el déficit de presión de vapor y la velocidad del viento en la Estación Meteorológica de Puno. Específicamente se determinó la relación a través de una regresión lineal múltiple en un proceso de calibración y luego esta relación se validó comparando los valores obtenidos por la relación con valores obtenidos a través del método del tanque clase A, también se comparó la relación con el método de Penman-Monteith, de Hargreaves y de Serruto.

La relación obtenida es lineal, además la relación se compone de dos términos que representan la influencia de la temperatura y la radiación extraterrestre. Los coeficientes de regresión lineal múltiple son estadísticamente significativos y diferentes de cero y se halló un alto valor de coeficiente de correlación de 84% y de determinación de 71%. La relación posee una base física porque los términos de velocidad de viento y déficit de presión de vapor representan el factor aerodinámico, y los términos de temperatura y radiación extraterrestre representan el factor del balance de energía. Además, esta relación estima mejor la evapotranspiración de referencia que los demás métodos con los que se comparó, debido a que tiene un menor error medio cuadrático respecto a la evapotranspiración de referencia obtenida con tanque clase A.

La variación de los valores obtenidos con la relación es estadísticamente igual a la variación obtenida con tanque clase A, y sobreestima

ligeramente la media debido a que los valores de evapotranspiración de referencia en la calibración son mayores a los de la validación.

Se recomienda aplicar la relación obtenida para la estación de Puno y lugares cercanos, verificar la confiabilidad de los datos climáticos, realizar modelos similares en otras estaciones en la región de Puno considerando otros factores climáticos, y analizar de manera regional el comportamiento climático de los últimos años y la influencia del cambio climático en los valores de evapotranspiración de referencia.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

El recurso hídrico, fuente de vida, es un bien escaso y uno de los principales motores de desarrollo económico y social, también se suma a ello, el gran problema en el manejo de los recursos hídricos en nuestro país, es su ineficiencia, especialmente en el uso agrícola. Para el aprovechamiento eficiente de los recursos hidráulicos implica el conocimiento de los lugares donde se encuentra el agua y en qué cantidad existe y su calidad y patrón de variabilidad. La estimación de las demandas para los diversos usos del agua, tanto en el tiempo como en el espacio y, establecer las normas para los usos del agua. En el medio rural, se debe tomar en cuenta la demanda de agua requerida para la subsistencia y desarrollo de los asentamientos rurales o comunidades campesina; la demanda del medio rural se estima considerando el crecimiento poblacional, la dotación de la población y el consumo pecuario directo.

El problema del cambio climático y el calentamiento global generalizado a nivel del globo terráqueo, hace que exista las alteraciones en el ciclo hidrológico la cual afecta directamente a los procesos de evaporación y transpiración y por ende el uso consuntivo de los cultivos en general. Por otra parte, la humanidad está amenazada por el problema del hambre cada vez más fuerte, muy en especial en nuestro

territorio especialmente por la presencia de factores adversos como las heladas, sequías, entre otros fenómenos climatológicos en general; así también el manejo inadecuado de los recursos hídricos especialmente en el uso agrícola, las inundaciones y el mantenimiento inadecuado de los sistemas de riego y drenaje de tierras agrícolas, especialmente en el altiplano Puneño.

El uso eficaz del agua requiere un conocimiento amplio para ajustar los volúmenes de agua que se ha de aportar a fin de establecer las dosis y duración de riegos por lo tanto en el departamento de Puno, no existen metodologías adecuadas para su determinación de evapotranspiración de referencia, por esta razón el presente trabajo se plantea como un problema prioritario para determinar empíricamente una fórmula adoptado a la zona para su aplicación en la agricultura de la zona andina.

Por las razones expuestas, en la presente Tesis, se propone desarrollar un modelo que permite estimar la evapotranspiración de referencia con el propósito de optimizar su utilización del agua en las actividades agropecuarias, determinando de la forma más aproximada posible, el cual es la demanda real del recurso agua. Se ha formulado la siguiente interrogante:

¿Qué, relación existe entre el proceso evapotranspiración potencial, el déficit de presión de vapor y la velocidad del viento en la Estación Meteorológica de Puno?

1.2. Justificación

En aspectos relacionados con el riego, la estimación de la ETo, es verdaderamente importante, para determinar las necesidades de riego de los cultivos, diseñar sistemas de riego y embalses, valorar costos de energía y de la mano de obra necesarios para el riego, determinar el coste del agua de riego en los proyectos públicos de riego, establecer los calendarios de riego más adecuados, etc. con ello se pretende conseguir un mejor aprovechamiento y manejo de los recursos hídricos, algo fundamental en la actualidad, sobre todo en climas áridos semiáridos, debido a la fuerte demanda del agua que se produce, surgen polémicas y disputas por parte de varios usuarios sobre la posesión de este bien.

Existen diferentes formas de determinar la ETo. Por un lado la ETo se puede medir de una manera directa mediante el uso de lisímetros, técnicas de tele detección. Finalmente la ETo puede calcularse o estimarse mediante la utilización de métodos físicos y métodos empíricos. La ETo es un proceso que interesa a varias disciplinas, entre ellas la climatología, la agronomía y la hidrología; sin embargo, resulta muy compleja la determinación en forma precisa para un área extensa, los resultados obtenidos en la presente investigación permitirán recurrir al planeamiento hidráulico y al empleo de tecnología cada vez más avanzada en el aprovechamiento de los recursos agua y suelo, también servirán para proponer a Centros de Investigaciones Agrícolas y Proyectos de Desarrollo Agrícola la aplicación de la nueva fórmula

empírica. Podrán ser utilizados en experimentos con cultivos agrícolas de importancia en la zona de estudio y cualquier otro lugar importante.

En este trabajo de investigación se calculara la ET_o con mayor precisión, fácil aplicación y más económica para los agricultores. El método consiste en calibración y validación, luego adaptarlos a condiciones climáticas locales mediante su comparación con valores de ET_o medidos en: Tanque A, Penman-Monteith, Hargreaves y Serruto.

1.3. Antecedentes

El departamento de Puno se ubica al sur del Perú en la frontera con la república de Bolivia. Está constituido por dos grandes zonas: el altiplano y la selva. La población para 1996 fue de 1'134686 habitantes, 58 % es rural, dedicada a actividades principalmente agropecuarias y de servicios. La tasa anual de crecimiento poblacional de 1.52 es inferior a la nacional, debido al proceso migratorio. El altiplano contiene 4 sub-tipos climáticos que se inician a partir de las orillas del Lago Titicaca (sub-tipo A) hacia las zonas cordilleranas (sub-tipo D) con variaciones de temperatura de -0 C hasta 13 C , y que con precipitaciones de 400 a 700mm determinan un desarrollo variable de la agricultura y ganadería. Ecológicamente presenta cuatro formaciones: a) Pradera o Bosque Húmedo Montano, b) Monte Húmedo y Muy Húmedo Sub-Alpino, c) Tundra Pluvial Alpino y d) Nival (L.R Holdridge) y segun P.Vidal: a) Region Suni, b) Region Puna y c) Region Janca.

Para llevar a cabo el presente tesis se ha basado en los siguientes trabajos:

CONVENIO PEPMI-INIPA “La Evapotranspiración” estación Experimental Huancayo Plan MERIS I.

GARCÍA V., JERONIMO, SANCHEZ C., ODON y PAREDES R., MARCOS. (1999). “Métodos de estimación de la evapotranspiración potencial en función del rango diurno de temperatura (DT) y radiación solar extraterrestre (Qs)”. Anales científicos. UNALM. Lima. Perú.

VLADIMIR LAURA QUISPE. (2006), en la tesis titulado “Determinación de una formula Empírica de la evapotranspiración Potencial en Puno”. Determina una ecuación que describe la ETp. calibrado en base a los métodos del tanque evaporímetro, Hargreaves, Blaney y Criddle y el de Serruto, utilizando los siguientes elementos climáticos: Temperatura, Humedad relativa, Radiación, altura sobre el nivel de mar obtenido en la estación Illpa.

YURI HAMILTON HUAPAYA CRUZ. (2009), en la tesis titulado “Análisis de la Evapotranspiración Potencial en función de elementos Climáticos en la zona Circunlacustre de la cuenca del Titicaca Peruano”, para ello se empleó información de las estaciones meteorológicas de Puno, Juli, y Desaguadero. Se tomó los promedios mensuales de los elemento climático: Temperatura máxima, mínima, humedad relativa, velocidad del viento horas del sol y evaporación de los años.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Determinar la relación entre la evapotranspiración de referencia con el déficit de presión de vapor influenciada por la velocidad del viento en la Estación meteorológica Puno.

1.4.2. Objetivos específicos

1.4.2.1. Efectuar el análisis comparativo entre los diferentes métodos empíricos de la evapotranspiración de referencia con el modelo obtenido, de la estación meteorológica Puno.

1.4.2.2. Determinar los coeficientes de regresión entre la evapotranspiración de referencia, el déficit de presión de vapor y la velocidad del viento, y verificar su significancia estadística dependiendo del tipo de modelo obtenido.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis general

Existe una relación directa entre la evapotranspiración de referencia con el déficit de presión de vapor que depende de la velocidad del viento en la Estación meteorológica Puno.

1.5.2. Hipótesis específicas

1.5.2.1. La evapotranspiración de referencia depende de forma no lineal del déficit de presión de vapor y de la velocidad del viento en la Estación Meteorológica de Puno.

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

II. REVISION DE LITERATURA

2.1. MARCO TEÓRICO

El concepto de evapotranspiración potencial (ETP), popularizado por Thornthwaite (1948), en el contexto climático se puede definir como la máxima cantidad de agua que puede evaporarse desde un suelo completamente cubierto de vegetación, con desarrollo óptimo y en el supuesto de no existir limitaciones de agua (por lluvia o riego). Esta definición implica que la ETP está controlada por factores meteorológicos, además de por las características del cultivo y del suelo, sin depender de las condiciones de humedad del suelo. Este concepto ha sido de utilidad como marco de referencia en aplicaciones prácticas (Doorenbos y Pruitt, 1977)

Con la finalidad de reducir las ambigüedades de interpretación a que ha dado lugar el amplio concepto de ETP, se introduce el concepto de evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o). El concepto de ET_o es similar al de ETP, incluso en ciertos trabajos son considerados como equivalentes (Mckenney y Rosenberg, 1993), pero se diferencian en que éste es aplicado a un cultivo específico. La evapotranspiración del cultivo de referencia en los últimos años está reemplazando al de ETP. Se han establecido

conceptos diferentes según el tipo de cultivo de referencia que se trate, por convención gramínea (Doorenbos and Pruitt, 1977) o alfalfa (Jensen, 1990) y se ha propuesto una definición para el concepto de ETo basada en la ecuación de Penman Monteith. La aproximación de Penman-Monteith se refiere a una superficie hipotética con determinadas características. Por lo tanto, la ETo se define como la tasa de evapotranspiración desde un cultivo hipotético sano con una altura de 12 cm, crecimiento activo, que da una cobertura sombreada al suelo, cubre un área extensa y que está bien provisto de agua. Bajo estas condiciones se asume que la resistencia del cultivo es de 70 s m^{-1} y el albedo es 0,23 (Allen, R. 1998).

Los procesos de evaporación y transpiración dependen de la demanda evaporativa de la atmósfera, del contenido hídrico y de la naturaleza del suelo. Además, dependen de las características de la cubierta vegetal, de manera que en las primeras fases de desarrollo de un cultivo, la evapotranspiración tiene un componente mayoritario de evaporación que se va atenuando a medida que se desarrolla la cubierta vegetal (aumento del índice de área foliar y el grado de cobertura de la superficie), hasta que la transpiración prevalece totalmente sobre la evaporación (De Juan y Martín de Santa Olalla, 1993).

La evapotranspiración real (ET_r) es la cantidad de agua verdaderamente perdida por el suelo y depende de las condiciones atmosféricas, el contenido de agua en el suelo y las características de la vegetación. Por lo tanto la ET_r puede ser muy diferente a la ETP, aunque en la generalidad de las situaciones tiende a ser menor o en el caso límite igual a ésta. Excepcionalmente, la ET_r puede ser mayor a la potencial, por ejemplo, luego de una lluvia, cuando el follaje ha interceptado agua de lluvia y ésta es perdida directamente a la atmósfera desde éste (Inoue y Moran, 1997; Entraigas, 2001).

Entonces, podemos decir que la ET_r nos indica la cantidad de agua que verdaderamente sale desde el sistema (suelo-planta) a la atmósfera. La estimación de la magnitud de la ET_r sólo puede realizarse a través de medidas directas precisas (lisímetros), las cuales presentan grandes dificultades técnicas y operativas. También, es posible realizar estimaciones de ET_r en parcelas con sonda de capacitancia, que permiten estimar la humedad disponible en el suelo para una profundidad definida (con plano de flujo cero), y de forma indirecta estimar la ET_r (Weinzettel y Usunoff, 2001).

VÁSQUEZ (2000) Indica, la evapotranspiración potencial (ETP), es la cantidad de agua evaporada y transpirada por un cultivo de tamaño

corto (generalmente pastos), que cubre toda la superficie en estado activo de crecimiento y con un suministro adecuado y continuo de agua .

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

Para su determinación se presenta diferentes métodos directos y fórmulas empíricas.

IRMAK y HAMAN (2003), el primer concepto de evapotranspiración potencial fue introducido a finales de los 1940s a 50s por Penman y este es definido como “la cantidad de agua transpirada en un tiempo dado por un cultivo verde y corto, cubriendo completamente el suelo, de altura uniforme y con adecuado estado de agua en el perfil del suelo”. Se debe notar que en la definición de evapotranspiración potencial, el valor de evapotranspiración potencial no está relacionado a un cultivo específico. La principal confusión con la definición de evapotranspiración potencial es que allí están tipos de cultivos hortícolas y agronómicos que se adecuan a la descripción de cultivo verde corto. Así, científicos pueden ser confundidos como que cultivo a ser seleccionado para ser usado como un

cultivo verde corto porque los valores de evapotranspiración desde cultivos agrícolas bien humedecidos pueden ser por lo mucho de 10 a 30% más grandes que los ocurridos desde grass verde corto.

IRMAK y HAMAN (2003), la evapotranspiración de referencia es definida como “El valor de evapotranspiración desde un cultivo hipotético de referencia con una altura de cultivo asumida de 0.12 m (4.72 in), una superficie de resistencia fija de 70 seg m^{-1} ($70 \text{ seg } 3.2 \text{ ft}^{-1}$) y un albedo de 0.23, cerradamente asemejando la evapotranspiración desde una superficie extensa de cultivo de grass verde de altura uniforme, creciendo activamente, bien humedecido, y cubriendo completamente el suelo”. En la definición de la evapotranspiración de referencia, el grass está específicamente definido como el cultivo de referencia y este cultivo es asumido libre de estrés hídrico y de enfermedades. En la literatura los términos “evapotranspiración de referencia” y “evapotranspiración del cultivo de referencia” han sido usados intercambiamente y ellos ambos representan el mismo valor de evapotranspiración desde una superficie de grass verde corto.

El concepto de evapotranspiración de referencia fue introducido por ingenieros de irrigación e investigadores a finales de los años 1970 y a inicios los 80s para evitar ambigüedades que existieron en la definición de evapotranspiración potencial. Por adopción del cultivo de referencia (grass) esto lleva a ser fácil y más práctico coeficientes de cultivo consistentes y para hacer confiable la estimación de la evapotranspiración

actual del cultivo en nuevas áreas. En adición, con el uso de la evapotranspiración de referencia, es fácil seleccionar coeficientes de cultivos consistentes y para calibrar ecuaciones de evapotranspiración para un clima local dado.

2.2. FACTORES METEOROLÓGICOS DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN

Los factores meteorológicos que determinan la evapotranspiración son los componentes del tiempo que proporcionan energía para la vaporización y extraen vapor de agua de una superficie evaporante. Los principales parámetros meteorológicos que se deben considerar se presentan a continuación.

2.2.1. Radiación solar

El proceso de la evapotranspiración está determinado por la cantidad de energía disponible para evaporar el agua. La radiación solar es la más importante fuente de energía en el planeta y puede cambiar grandes cantidades de agua líquida en vapor de agua, depende de la turbidez de la atmósfera y de la presencia de nubes que reflejan y absorben cantidades importantes de radiación.

2.2.2. Temperatura del aire

La radiación solar absorbida por la atmósfera y el calor emitido por la tierra elevan la temperatura del aire. El calor sensible del aire circundante transfiere energía al cultivo y entonces ejerce un cierto control

en la tasa de evapotranspiración. En un día soleado y cálido, la pérdida de agua por evapotranspiración será mayor que en un día nublado y fresco.

2.2.3. Humedad del aire

La diferencia entre la presión de vapor de agua en la superficie evapotranspirante y el aire circundante es el factor determinante para la remoción de vapor. Áreas bien regadas en regiones áridas secas y calientes, consumen grandes cantidades de agua debido a la gran disponibilidad de energía y al poder de extracción de vapor de la atmósfera. En cambio en regiones húmedas tropicales, a pesar de que el ingreso de energía es elevado, la alta humedad del aire reducirá la demanda de evapotranspiración. En este último caso, como el aire está ya cerca de saturación, puede absorber menos agua adicional y por lo tanto la tasa de evapotranspiración es más baja que en regiones áridas.

2.2.4. Velocidad del viento

El proceso de remoción de vapor depende en alto grado del viento y de la turbulencia del aire, los cuales transfieren grandes cantidades de aire hacia la superficie evaporante. Con la evaporación del agua, el aire sobre la superficie evaporante se satura gradualmente con vapor. Si este aire no se substituye continuamente por un aire más seco, disminuye la intensidad de remoción de vapor de agua y la tasa de evapotranspiración disminuye.

2.3. ESTIMACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN

Es evidente que la ETo tiene gran importancia climática, hidrológica y agronómica. Entonces es relevante conocer de qué manera es posible cuantificar los volúmenes de agua comprometidos en el proceso, qué métodos o modelos son aplicados, la información requerida para su aplicación, y el grado de precisión logrado.

Desde que Dalton en 1802 enunciara su ley como una ecuación de transporte de masa, comenzaron a desarrollarse las primeras formulaciones teóricas para el cálculo de la ETo. Sin embargo, a partir de 1950 comienza una intensa y sistemática fase de experimentación que da lugar a los múltiples métodos conocidos y aplicados hasta hoy. Con el advenimiento de las diferentes misiones espaciales, a mediados de 1970, se generan nuevos modelos de estimación que dan un nuevo impulso al estudio de la ETo. Dicho impulso se extiende hasta la actualidad, y ha dado lugar a que ciertas misiones lleven sensores específicos para cuantificar, de forma más precisa, la energía utilizada en el proceso de ETo.

Los modelos utilizados para calcular la ETo se pueden dividir en dos grandes grupos: los clásicos o convencionales, que hacen uso de información fundamentalmente de tipo climático o meteorológica (modelos a escala local), y los que utilizan información captada desde satélites (modelos a escala regional).

Tanto a escala local como regional, una de las mayores limitaciones, en el momento de calcular la evapotranspiración, son los datos disponibles. Además, en la mayoría de los casos, cuanto más preciso es el método de cálculo, mayores son los datos requeridos por el modelo, y más compleja la aplicación

2.3.1. Temperatura y humedad del aire

Mejía (2001), como se sabe, la temperatura y la humedad del aire acondicionan la presión de vapor del mismo, actuando por lo tanto como factores ligados a la gradiente de vapor entre la superficie y el aire vecino.

La elevación de la temperatura aumenta el valor de la presión de saturación del vapor del agua, permitiendo que mayores cantidades de vapor de agua puedan estar presentes en el mismo volumen de aire, para el estado de saturación.

Mejía (2001), es la relación, en porcentaje, entre la cantidad de humedad actual en el aire y la cantidad necesaria para saturar el aire a una temperatura dada:

$$H_R = \frac{e}{e_s} \times 100$$

Donde:

HR = humedad relativa (%).

e = presión de vapor actual (Pa).

e_s = presión de vapor de saturación (Pa).

2.3.2. Presión de vapor de saturación

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

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

Donde:

e_s = Presión de vapor de saturación, está en pascales $\left(\text{Pa} = \frac{\text{N}}{\text{m}^2}\right)$

T = Temperatura del aire [$^{\circ}\text{C}$]

$\exp[\dots]$ = 2.7183 (base de logaritmo natural) elevado a la potencia [...]

2.3.3. Ley de Dalton

Aparicio (1993) cita que el proceso de evaporación el intercambio de moléculas se forma en una pequeña zona situada junto a la superficie de agua. Se e_w es la presión de vapor existente en la zona de intercambio, e_a es la presión de vapor del aire que se tiene en un momento dado y e_s la presión de vapor de saturación.

La Ley de Dalton propuesta en 1802 afirma que “la evaporación es proporcional al gradiente de presión de vapor entre la zona de intercambio y la atmósfera”. Se expresa como:

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

Donde:

k = Es una constante de proporcionalidad

E = Es la evaporación

El valor de e_w generalmente tiene un valor cercano a e_s , de manera que la ecuación anterior se expresa en forma aproximada como:

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

2.3.4. Radiación Solar

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

2.3.5. Viento

Mejía (2001), el viento actúa mecánicamente en el fenómeno, renovando el aire en contacto con las masas de agua o con la vegetación, alejando del lugar las masas de aire que ya tienen un grado de humedad elevado. En la capa en contacto con la superficie el movimiento del vapor es por difusión molecular mientras que por encima de esa capa límite superficial, el responsable es el movimiento turbulento del aire (difusión turbulenta).

2.3.6. Evaporación

Aparicio (1993), indica que la evaporación es el proceso por el cual el agua pasa del estado líquido en que se encuentra (en los almacenamientos, conducciones y en el suelo, en las capas cercanas a su superficie) a estado gaseoso y se transfiere a la atmósfera.

Allen, (1998), mencionan que, la evaporación es el proceso por el cual el agua líquida es convertida a vapor de agua (vaporización) y removida desde la superficie evaporante (remoción de vapor). El agua evapora desde una variedad de superficies tales como lagos, ríos, pavimentos, suelos y vegetación mojada.

Se requiere energía para cambiar el estado de las moléculas de agua de líquido a vapor. La radiación solar directa y, menos extendida, la temperatura ambiental del aire, proveen esta energía. La fuerza impulsora para remover el vapor de agua desde la superficie de evaporación es la diferencia entre la presión de vapor de agua en la superficie de evaporación y la de los alrededores de la atmósfera. Tal como se gana evaporación, el aire de alrededores llega a saturarse y el proceso baja lentamente y puede parar si el aire húmedo no es transferido a la atmósfera. El reemplazo de aire saturado con aire seco depende de enormemente de la velocidad

del viento. De aquí, la radiación solar, la temperatura del aire, la humedad relativa y la velocidad del viento, son los parámetros climatológicos a considerar cuando se estima el proceso de evaporación.

2.3.7. Transpiración

Según Aparicio (1993), la transpiración es el agua que se despiden en forma de vapor de las hojas de las plantas. Esta agua es tomada por las plantas, naturalmente, del suelo.

Allen, (1993), indican que, la transpiración consiste en la vaporización del agua líquida contenida en el tejido de la planta y el vapor removido a la atmósfera. Los cultivos predominantemente pierden su agua a través de las estomas. Estas son pequeñas aberturas en la hoja de la planta a través de las que pasan gases y vapor de agua. El agua, junto con algunos nutrientes, es tomada por la raíz y transportada a través de la planta. La vaporización ocurre dentro de la hoja, a saber en los espacios intercelulares, y el cambio de vapor es controlado por la abertura de la estoma. Casi toda el agua tomada es perdida hacia arriba por transpiración y sólo una diminuta fracción es usada dentro de la planta.

La transpiración, como la evaporación directa, depende del suministro de energía, el gradiente de presión de vapor y viento. De

aquí que los términos: radiación, temperatura del aire, humedad del aire y el viento; son considerados cuando se estima la transpiración. El contenido de agua del suelo y la habilidad del suelo para conducir agua a las raíces también determinan el valor de la transpiración, como hace inundar y pone salina el agua del suelo. El valor de la transpiración es también influenciado por las características del cultivo, aspectos ambientales y prácticas culturales de cultivo. Diferentes especies de plantas pueden tener diferentes valores de transpiración. No sólo el tipo de cultivo, pero también el desarrollo del cultivo, el ambiente y el manejo serán considerados cuando se estima la transpiración.

2.3.8. Evapotranspiración

La evapotranspiración real (ET) es una de las principales variables de entrada en la metodología para estimar el consumo de agua del cultivo durante su ciclo de crecimiento. La metodología más ampliamente usada para estimar el consumo de agua de los cultivos es la recomendada por Allen, (1998) en la publicación de la FAO, donde la ET es estimada en función de la evapotranspiración de referencia (ET_o) y de un coeficiente de cultivo (K_c). La ET_o es calculada usando la ecuación de Penman-Monteith que requiere mediciones simultáneas de temperatura, humedad relativa, velocidad del viento y radiación solar. El coeficiente K_c depende del

estado fenológico del cultivo y de las condiciones específicas de suelo y clima. Los mayores errores de esta metodología están asociados a los valores de K_c , pues éstos no pueden ser usados en forma generalizada y requieren de una calibración local (Ortega, 2003).

Chow, (1994), mencionan que, la evapotranspiración es la combinación de evaporación desde la superficie del suelo y la transpiración de la vegetación. Los mismos factores que dominan la evaporación desde la superficie de agua abierta también dominan la evapotranspiración, los cuales son: el suministro de energía y el transporte de vapor. Además, el suministro de humedad a la superficie de evaporación es un tercer factor que se debe tener en cuenta. A medida que el suelo se seca, la tasa de evapotranspiración cae por debajo del nivel que generalmente mantiene en un suelo bien humedecido.

Allen, (1998), al respecto indican que, la evaporación y transpiración ocurren simultáneamente y allí no es fácil la manera de distinguir entre los dos procesos. Con excepción del agua disponible en la capa vegetal superior del suelo, la evaporación del suelo cultivado es principalmente determinada por la fracción de la radiación solar extendida en la superficie del suelo. Esta fracción decrece sobre el período de crecimiento tal como el cultivo se

desarrolla y el cultivo cubre de sombra más y más, el área de suelo. Cuando el cultivo es pequeño, el agua es predominantemente perdida por evaporación del suelo, pero una vez que el cultivo está bien desarrollado y completamente cubierto el suelo, la transpiración llega a ser el principal proceso.

2.3.9. Medición de la Evapotranspiración

2.3.9.1. Lisímetros

Chow, (1994), la evapotranspiración o evaporación desde la superficie terrestre más la transpiración a través de las hojas de las plantas puede medirse utilizando lisímetros. Un lisímetro es un tanque relleno, de suelo, en el cual se planta vegetación semejante a la cubierta vegetal circundante. La cantidad de evapotranspiración desde el lisímetro se mide teniendo en cuenta el balance hídrico de todas las entradas y salidas de humedad. En el lisímetro se mide la precipitación, el drenaje a través de su fondo y los cambios en el contenido de humedad del suelo. La cantidad de evapotranspiración es la necesaria para completar el balance de agua.

Según GUROVICH (1999), los lisímetros, son instrumentos utilizados para medir el contenido real de agua en el suelo; están rodeados de vegetación natural, para reproducir las condiciones existentes en el campo; por diferencias de peso medidas continuamente se determina la pérdida de agua del cultivo. Cuando los lisímetros se

construyen adecuadamente y son instalados en lugares representativos, pueden proveer las medidas más exactas del uso de agua por los cultivos; sin embargo, estas instalaciones son de alto costo de operación y se utilizan sólo con fines de investigación, en estaciones experimentales muy complejas.

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

$$ET = LL + R - P \pm \Delta H$$

Donde:

ET = evapotranspiración real del cultivo

LL = lámina proporcionada por la lluvia,

R = lámina proporcionada por el riego,

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

P = percolación profunda.

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

2.3.9.2. Método de la bandeja de evaporación clase A

GUROVICH (1999) afirma que, el método estándar de determinación de la evapotranspiración, es el evaporímetro de bandeja Standard Clase A, del U.S.W.B. (Oficina de Climatología de EE.UU.); este instrumento permite determinar la evaporación desde una superficie de agua, que es el mejor integrador de los factores climáticos que determinan la evapotranspiración. La evaporación medida por este método es denominada evaporación de bandeja por medio del coeficiente de bandeja; se encuentra referida a una vegetación de escasa altura en activo crecimiento, que cubre íntegramente el terreno y se mantiene sin restricciones de humedad del suelo; su magnitud depende fundamentalmente de las condiciones climáticas existentes, dadas por las características de la atmósfera vecina al suelo (evapotranspiración potencial).

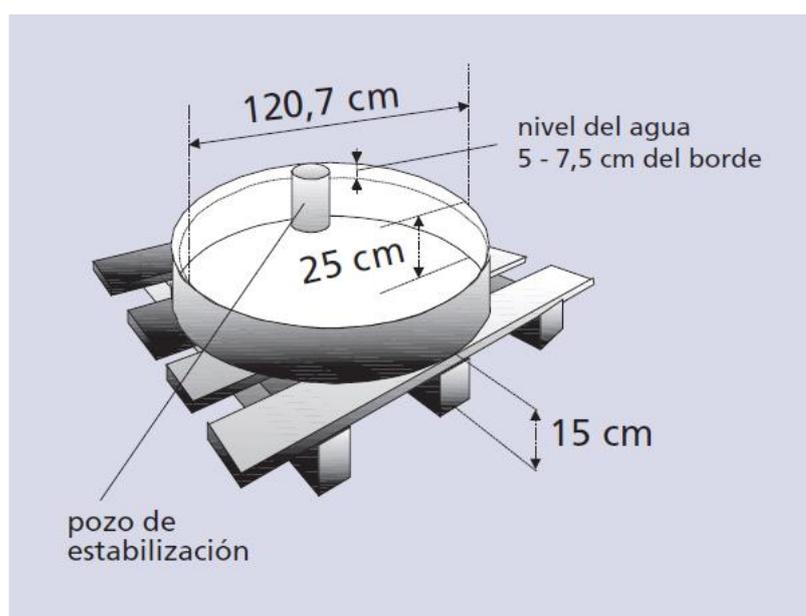
El tanque Clase A es circular, 120,7 cm de diámetro y 25 cm de profundidad. Está construido de hierro galvanizado o de láminas de metal (0,8 mm). El tanque se sitúa sobre una plataforma de madera en forma de reja que se encuentra a 15 cm por encima del nivel del suelo. El tanque debe estar a nivel. Una vez instalado, el tanque se llena con agua hasta 5 cm por debajo del borde y el nivel del agua no debe disminuir hasta más de 7,5 cm por debajo del borde. El agua debe ser regularmente cambiada, al menos semanalmente, para eliminar la turbidez. Si el tanque es galvanizado, debe ser pintado anualmente con pintura de aluminio. Las

mallas sobre los tanques deben evitarse. Los tanques deben ser protegidos con mallas de seguridad para evitar el acceso de los animales.

El lugar de instalación debe estar cubierto preferentemente con pasto, en un área de 20 por 20 m, abierto a todos lados para permitir la circulación del aire. Es preferible que la estación se encuentre situada en el centro o dentro de grandes campos cultivados.

Las lecturas del tanque se realizan diariamente temprano en la mañana a la misma hora que se mide la precipitación. Las mediciones se realizan dentro de un área estable situada cerca del borde del tanque. El área estable produce comúnmente un cilindro de metal de cerca de 10 cm de diámetro y 20 cm de profundidad con una pequeña abertura en la base para permitir el flujo de agua

Figura N° 1: Descripción del tanque Clase A



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

$$ET_p = Kb * E_o$$

Donde:

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

K_b = Coeficiente de bandeja, que depende de la ubicación de ésta y de las condiciones climáticas.

E_o = evaporación del tanque para el período de 24 horas (mm/día).

La bandeja de evaporación se comporta, dentro de ciertos límites, en la misma forma que las plantas, frente a la acción combinada de la radiación, viento, temperatura y humedad relativa del aire. Sin embargo, una superficie libre de agua absorbe más energía incidente que la superficie de un cultivo. Además, el calor almacenado dentro de un tanque o bandeja puede causar una considerable evaporación durante la noche, mientras la mayoría de las plantas transpiran únicamente durante el día. El color de la bandeja y la cantidad de agua almacenada en ésta producen diferencias en la cantidad de agua evaporada. Por consiguiente,

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

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

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

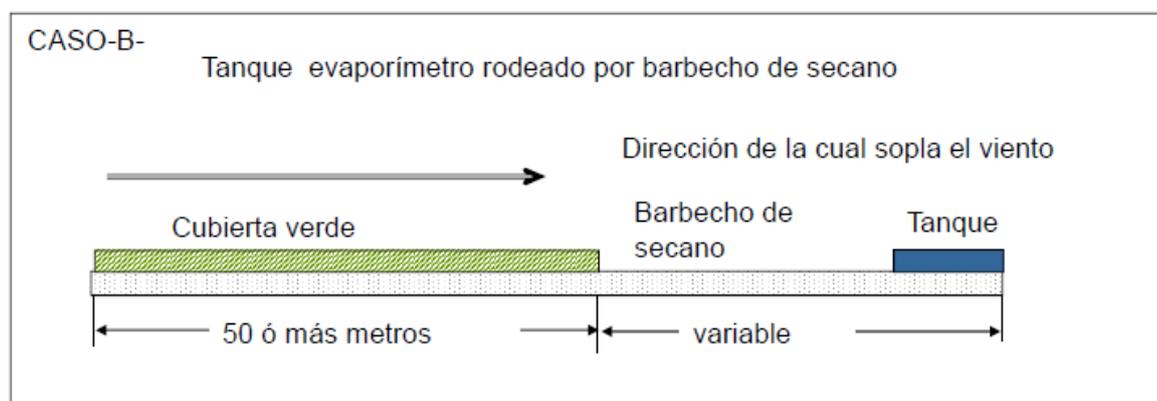
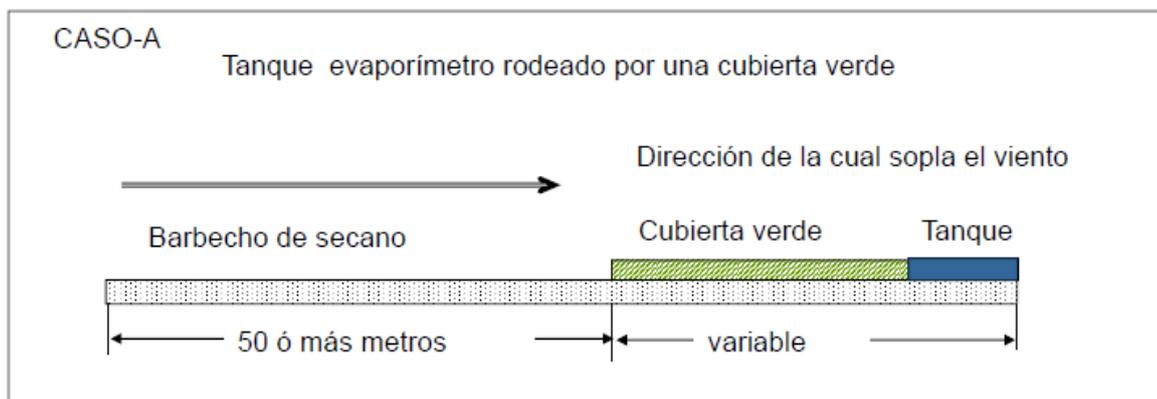
Cuadro N° 1. Coeficiente de bandeja clase A (Kb), para distintas coberturas de terreno, niveles de humedad relativa media y velocidad total de viento en 24 horas.

BANDEJA CLASE A	BANDEJA CLASE A RODEADA DE UN CULTIVO VERDE BAJO				BANDEJA CLASE A RODEADA DE UN TERRENO SIN CULTIVO			
	Distancia desde un cultivo verde (m)	HR (%) Promedio			Distancia desde un cultivo verde (m)	HR (%) Promedio		
		Bajo < 40	medio 40-70	Alto > 70		Bajo < 40	medio 40-70	Alto > 70
Leve < 175	0	0.55	0.65	0.75	0	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 175-700	0	0.50	0.60	0.65	0	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	0	0.45	0.50	0.60	0	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	0.7	0.75	1000	0.40	0.45	0.55
Muy fuerte > 700	0	0.40	0.45	0.50	0	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: publicación N° 56 de la FAO

2.3.9.3. Coeficiente del tanque

ALLEN et al (1998) afirman que, dependiendo del tipo de tanque, el tamaño y estado de la zona de amortiguamiento de viento (borde) los coeficientes diferirán. Al agrandar la zona de amortiguamiento de viento, la mayoría de aire en movimiento sobre el tanque estará en equilibrio con la zona de amortiguamiento. **Cuadro N° 1:** Dos casos de localización de los tanques y sus alrededores



Fuente: publicación N° 56 de la FAO

El coeficiente para el tanque clase A para diferentes coberturas de suelo, borde y condiciones climáticas puede obtenerse con una ecuación de regresión.

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

$$K_p = 0.108 - 0.0286u_2 + 0.0422\ln(BORDE) + 0.1434\ln(HR_{media}) - 0.000631[\ln(BORDURA)]^2\ln(HR_{media})$$

Donde:

K_p = coeficiente del tanque.

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

$$HR_{media} = \text{humedadrelativadiariapromedio}[\%] \\ = (HR_{max} + HR_{min})/2$$

BORDE = Borde o distancia al borde de la superficie identificada (pasto o cultivo) verde corto para el Caso A y suelo en barbecho o cultivo seco en direcciones del viento para el Caso B

Rango de las variables es:

- $1 \text{ m} \leq \text{BORDE} \leq 1000 \text{ m}$ (estos límites deben ser observados).
- $30 \% \leq \text{RHmean} \leq 84 \%$
- $1 \text{ m/s} \leq u_2 \leq 8 \text{ m/s}$

2.3.9.4.Fórmula para el cálculo de la evapotranspiración potencial adaptada al trópico

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

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

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

- Existe una baja densidad total de estaciones climatológicas.
- Hay baja densidad de registradores de radiación solar.
- Los registros más abundantes son temperatura, humedad y evaporación.

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

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

$$ETP = 1.21 * 10^{\frac{7.45T}{234+T}}(1 - 0.01HR) + 0.21T - 2.30$$

Donde:

T = temperatura media en °C.

HR = humedad relativa media de la horas diurnas aproximadamente igual a:

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

ETP = evapotranspiración potencial en mm/día.

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

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

GARCIA et al (1999), mencionan que, los modelos de mejor ajuste corresponden al potencial y exponencial cuyas expresiones se presentan en seguida.

Para La Molina:

$$E_0 = 1.155(Q_s)^{0.05732\Delta T} \text{ (mm/día)}$$

$$E_0 = Q_s(e)^{(-2.41+0.134\Delta T)} \text{ (mm/día)}$$

Para Puno:

$$E_0 = 3.2114(Q_s)^{0.005623\Delta T} \text{ (mm/día)}$$

$$E_0 = Q_s(e)^{(-1.57+0.0144\Delta T)} \text{ (mm/día)}$$

En ambas localidades el rango diario de temperatura y la radiación solar disponible en el tope de la atmósfera son buenos estimadores de la

evapotranspiración potencial. En cuanto a la precisión se ha encontrado que los errores de estimación son menores en Puno y mayores en La Molina.

2.3.9.6. Métodos basados en el balance de energía

Chow, (1994) mencionan, para desarrollar las ecuaciones de continuidad y energía aplicables a la evaporación, se considera la evaporación desde un tanque de evaporación:

$$E = \frac{1}{l_v \rho_w} (R_n - H_s - G)$$

Que es la *ecuación de balance de energía* para evaporación. Si el campo de flujo de calor sensible H_s y el campo de flujo de calor de suelo G equivalen a cero, entonces, la tasa de evaporación E_r debida a la radiación puede calcularse como la tasa a la cual toda la radiación neta de entrada se absorbe por la evaporación:

$$E_r = \frac{R_n}{l_v \rho_w}$$

Donde:

$l_v =$ *Calor latente de vaporización (KJ/Kg)*

$G =$ *Flujo del calor del suelo (MJ/m²/día)*

$\rho_w =$ ***Densidad del agua (kg/m³)***

$R_n =$ *Radiación neta (MJ/m²/día)*

$H_s =$ *Flujo de calor sensible (MJ/m²/día)*

2.3.9.7. Evaporación por método aerodinámico

Chow, (1994) menciona que la evaporación por el método aerodinámico se obtiene mediante la siguiente ecuación

$$E_a = B(e_{as} - e_a)$$

También tenemos: $e_a = R_h e_{as}$

Donde:

$$R_h = (0 \leq R_h \leq 1)$$

$$E_a = \text{tasadeevaporación [L/T]}$$

$$e_{as} = \text{presión de vapor de saturación [N/m}^2\text{]}$$

$$e_a = \text{presión de vapor actual o real [N/m}^2\text{], y}$$

B = factor que depende de la constante de von Karman k , de la densidad del aire ρ_a , de la velocidad del viento a 2 m de altura u_2 , de la presión p , de la densidad del agua ρ_w , de la altura de medición Z_2 (2 m) y de la altura de rugosidad z_0 .

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

El coeficiente de transferencia de vapor b varía de un lugar a otro

2.3.9.8. Método combinado aerodinámico y de balance de energía

Chow, (1994) mencionan, La evaporación puede calcularse utilizando el método aerodinámico cuando el suministro de energía no es

un factor limitante, y aplicando el método de balance de energía cuando el transporte de vapor tampoco es limitante. Pero, normalmente, ninguna de estas condiciones se cumple, por lo que es necesaria una combinación de los dos métodos.

$$E = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} E_r + \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} E_a$$

Donde:

E = Metodo combinado (mm/día)

γ = Constante psicometrica (Pa/°C)

E_r = Ecuación de bance de energía (mm/día)

E_a = Ecuación aerodinámico (mm/día)

Δ = Es el gradiente de la curva de presión de saturación del vapor a una temperatura de aire T_a :

$$\Delta = \frac{4098e_s}{(237.3 + T)^2}$$

γ = Constante psicometrica (Pa/°C)

$$\gamma = \frac{C_p K_h p}{0.622 l_v K_w}$$

C_p = Calor específico $\left(\frac{J}{Kg}\right)$

l_v = Calor latente de vaporización (KJ/Kg)

p = Presión total que ejerce el aire húmedo (Pa)

$\frac{K_h}{K_w}$ = Relación entre las difusividades del calor y vapor

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

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

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

2.3.9.9. Método de Penman-Monteith

ALLEN, (1998) afirman que, el método de FAO Penman-Monteith, puede ser derivado de la ecuación original de Penman-Monteith y las ecuaciones de la resistencia aerodinámica y superficial.

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

Donde:

ET_o = evapotranspiración de referencia (mm día⁻¹)

R_n = radiación neta en la superficie del cultivo (MJ m⁻²día⁻¹)

R_a = radiación extraterrestre (mm día^{-1})

G = flujo del calor de suelo ($\text{MJ m}^{-2}\text{día}^{-1}$)

T = temperatura media del aire a 2 m de altura ($^{\circ}\text{C}$)

U_2 = velocidad del viento a 2 m de altura (ms^{-1})

e_s = presión de vapor de saturación (kPa)

e_a = presión real de vapor (kPa)

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

Δ = pendiente de la curva de presión de vapor ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$)

γ = constante psicrométrica ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$)

La evapotranspiración de referencia (ET_o) provee un estándar de comparación mediante el cual:

- Se puede comparar la evapotranspiración en diversos períodos del año o en otras regiones;
- Se puede relacionar la evapotranspiración de otros cultivos.

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

2.3.9.10. Método de Hargreaves

ALLEN, (1998) plantean como alternativa, que la ET_o puede ser estimada utilizando la ecuación de Hargreaves (1985) donde:

$$ETo = 0.0023(T_{media} + 17.8)(T_{max} - T_{min})^{0.5} Ra$$

Donde:

ETo = Evapotranspiración del cultivo de referencia (mm/día).

T_{max} = Temperatura máxima promedio del día (°C)

T_{min} = Temperatura mínima promedio del día (°C)

Ra = Radiación solar extraterrestre (mm/día)

Esta ecuación tiene una tendencia de subdimensionar el valor de ETo bajo condiciones de vientos muy veloces (mayores de 3 m/s) y de sobre dimensionar el valor referido bajo condiciones de humedad relativa alta.

2.3.9.11. Método de Serruto

Serruto (1993) establece una fórmula para una mejor estimación de la evapotranspiración potencial para Puno en función de la radiación extraterrestre y la temperatura media, variables meteorológicas de fácil disponibilidad en general. La expresión de su modelo es la siguiente:

$$ETP = 0.003(RS)^{2.5} + 0.16(T)^{0.88}$$

Donde:

ETP=evapotranspiración potencial o evapotranspiración de referencia (mm/día).

RS = radiación solar extraterrestre (mm/día).

T = temperatura media mensual (°C).

2.4. REGRESION Y CORRELACION

2.4.1. Modelo de regresión múltiple

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

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

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

2.4.2. Estimación mínimo-cuadrática de la regresión múltiple

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

Esto es, tenemos que minimizar la función:

$$G = \sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - a_i - b_1x_{1i} - b_2x_{2i} - \dots - b_mx_{mi})$$

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

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

2.4.3.1. Coeficiente de determinación múltiple

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

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

2.4.3.2. Coeficiente de correlación múltiple

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

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

2.4.4. Pruebas en el análisis múltiple

2.4.4.1. Prueba mediante el análisis de varianza

HARNETT y MURPHY (1980), citan, en la regresión lineal múltiple probamos la hipótesis nula de que no existe asociación lineal en términos del coeficiente de determinación múltiple poblacional. $H_0: R^2=0$ y $H_a: R^2>0$. Si la ecuación de regresión lineal se ajusta adecuadamente a los datos, se tendrá que la variación explicada (SCR) debe ser grande en relación con la variación no explicada (SCE). Si se divide cada una de estas cantidades de variación por sus grados de libertad, se obtienen los correspondientes cuadrados medios. El cociente entre el cuadrado medio explicado (CMR) y el no explicado (CME) tiene una distribución F. En la regresión múltiple es necesario estimar $(m+1)$ parámetros sobre la base de las n observaciones, de modo que la variación no explicada tendrá $n - (m+1)$ grados de libertad. El número de grados de libertad de la variación explicada es igual al número de variables independientes (m). La variación total tiene siempre $(n-1)$ grados de libertad. El cuadro 2 viene a ser la tabla de análisis de la varianza para la regresión lineal múltiple.

Cuadro Nº 2: Tabla del análisis de la varianza (ANOVA) para la regresión múltiple

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

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

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

2.4.4.2. Pruebas referentes a un parámetro particular

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

$$F_{(n-m-1)} = \frac{b_i - 0}{S_{b_i}}$$

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

2.4.5. Supuestos para el modelo de regresión múltiple

HARNETT y MURPHY (1980), indican estos supuestos para el caso de la regresión múltiple:

SUPUESTO 1. El término de error ε es independiente de cada una de las m variables x_1, x_2, \dots, x_m .

SUPUESTO 2. Los errores ε_i para todos los conjuntos posibles de valores dados de x_1, x_2, \dots, x_m se distribuyen normalmente.

SUPUESTO 3. El valor esperado de los errores es igual a cero para todos los conjuntos posibles de valores dados x_1, x_2, \dots, x_m . Esto es, $E[\varepsilon_i] = 0$ para $i = 1, 2, \dots, n$.

SUPUESTO 4. Dos errores cualesquiera ε_i y ε_j son independientes. Esto significa que su covarianza es igual a cero, $C[\varepsilon_i, \varepsilon_j] = 0$ para $i \neq j$.

SUPUESTO 5. La varianza de los errores es finita, y es igual para todos los conjuntos posibles de valores dados de x_1, x_2, \dots, x_m . Esto es, $V[\varepsilon_i] = \sigma^2_\varepsilon$ es una constante para $i = 1, 2, \dots, n$.

III.MATERIALES Y METODOS

3.1.Ámbito de estudio

El trabajo de experimentación se realizó en la estación meteorológica de la ciudad de Puno CP 708, cuya ubicación geográfica se encuentra en las siguientes coordenadas:

Latitud	:	15°48'03" Sur
Longitud	:	70°02'00" Oeste
Altitud	:	Aprox. 3812 m.s.n.m.

3.2.Recursos

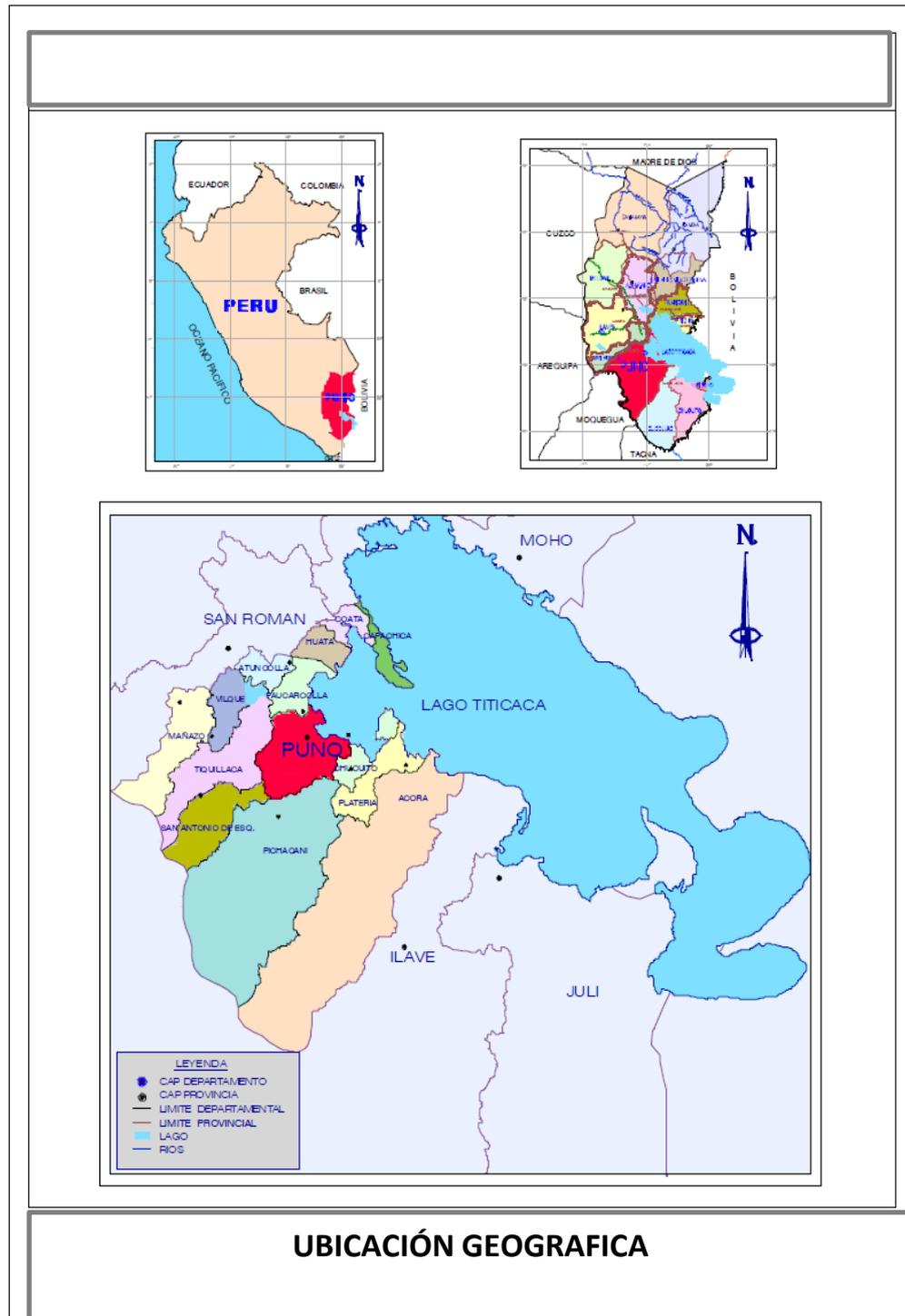
a) Recurso Humano

- El ejecutor.
- Apoyo del SENAMHI.

b) Materiales de escritorio

- Papel bond A-4
- Papel de formato continuo.
- USB
- CD – ROM

Figura N° 2 mapa de ubicación.



c) Computo y Otros

- Una computadora personal
- Una impresora.
- Software Microsoft Excel
- Software Cropwat y SAS.
- Cámara fotográfica.

d) Instrumental

- Termómetro de bulbo seco y de bulbo húmedo.
- Heliómetro.
- Anemómetro.
- Heliógrafo.
- Psicrómetro.
- Otros, instrumentos necesarios.

3.3. Información meteorológica

En el presente trabajo, se utilizó datos de 29 años de registros meteorológicos de la oficina del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología SENAMHI-CP-708-Puno:

- Datos de 15 años, para la calibración
- Datos de 14 años para la validación

Datos meteorológicos consistentes en información:

- Temperaturas máximas
- Temperaturas mínimas
- Humedad relativa.
- Evaporación mensual medida en tanque clase A.
- Radiación solar.
- Velocidad del viento.

3.4. Información Cartográfica

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

3.5. Equipos

- Instrumentos de la estación meteorológica.
- Equipo de procesamiento de datos y sus accesorios.
- Equipo fotográfico entre otros.

3.6. Metodología a emplearse

Se realizó el modelamiento de la evapotranspiración de referencia en función de las variables meteorológicas más relevantes con una regresión que da buenos estimadores, se tomó como evapotranspiración de referencia observada la obtenida por el método del tanque clase A. Se realizó las pruebas de bondad de ajuste del modelo como es el análisis de varianza de regresión y la prueba t para cada coeficiente. Posteriormente se comparó con los resultados de la aplicación de fórmulas tradicionales para evaluar las ventajas de ajuste del modelo.

Nuestro método consiste en calibración y validación, luego adaptarlos a condiciones climáticas locales mediante su comparación con valores de ET_0 medidos en:

Fórmulas empíricas tradicionales:

- a) Método Penman-Monteith
- b) Hargreaves
- c) Serruto y
- d) Tanque Clase "A"

3.7. Calculo de Evapotranspiración potencial

Para estimar el resultado de evapotranspiración de referencia, para el presente estudio se determinó a partir del uso de tres métodos "Método del tanque clase A", el "Método indirecto de Hargreaves en base a temperatura y radiación solar". Se ha utilizado el software CROPWAT, el programa ha sido elaborado por la Dirección de Fomento de Tierras y Aguas de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) con un registro de datos de temperatura media y humedad relativa, de 26 años hidrológicos.

3.9. Experimentación del Trabajo

La parte experimental del presente trabajo consiste en la determinación de parámetros de las variables que influyen en la evapotranspiración de referencia al nivel de formula empírica.

3.10. Diseño Estadístico

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

Para los cálculos de regresiones y correlaciones se utilizó el software MINITAB 15.0 y Excel 2007.

Para la solución del modelo polinomial se efectuó mediante el análisis de Regresión polinómica de ser el caso, empleando el siguiente modelo:

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

Donde la variable dependiente será:

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

Y la variable independiente será:

$$x = v$$

Donde:

E_0 = evapotranspiración de referencia en mm/día promedio del mes.

e_s = presión de vapor de saturación en N/m².

e_a = presión de vapor actual en N/m².

v = velocidad del viento en m/s.

El modelo de regresión general es:

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

Donde:

θ_i , $i=1,2,\dots,n$ = parámetros del modelo.

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

3.11. Calibración de la relación

La calibración se realizó aplicando la estimación mínimo cuadrática de coeficientes de regresión lineal múltiple para el período 1981-1995.

3.12. Validación de la relación

La validación se realizó comparando el modelo o relación con los métodos del tanque clase A, de Penman-Monteith, de Hargreaves y de Serruto.

Se determina el error medio cuadrático (EMC) respecto al valor obtenido con tanque clase A.

El período de validación fue de 1996-2009.

3.13. Análisis de Variancia

Para efectuar los análisis comparativos de los métodos de evapotranspiración de referencia se utilizó el diseño completamente al azar, en la cual se considerará tratamientos con doce meses del año, y cuyo modelo aditivo lineal es la siguiente:

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

Donde:

Y_{ij} = es una observación en la j-ésima unidad experimental, sujeto al i-ésimo método

μ = efecto de la media general.

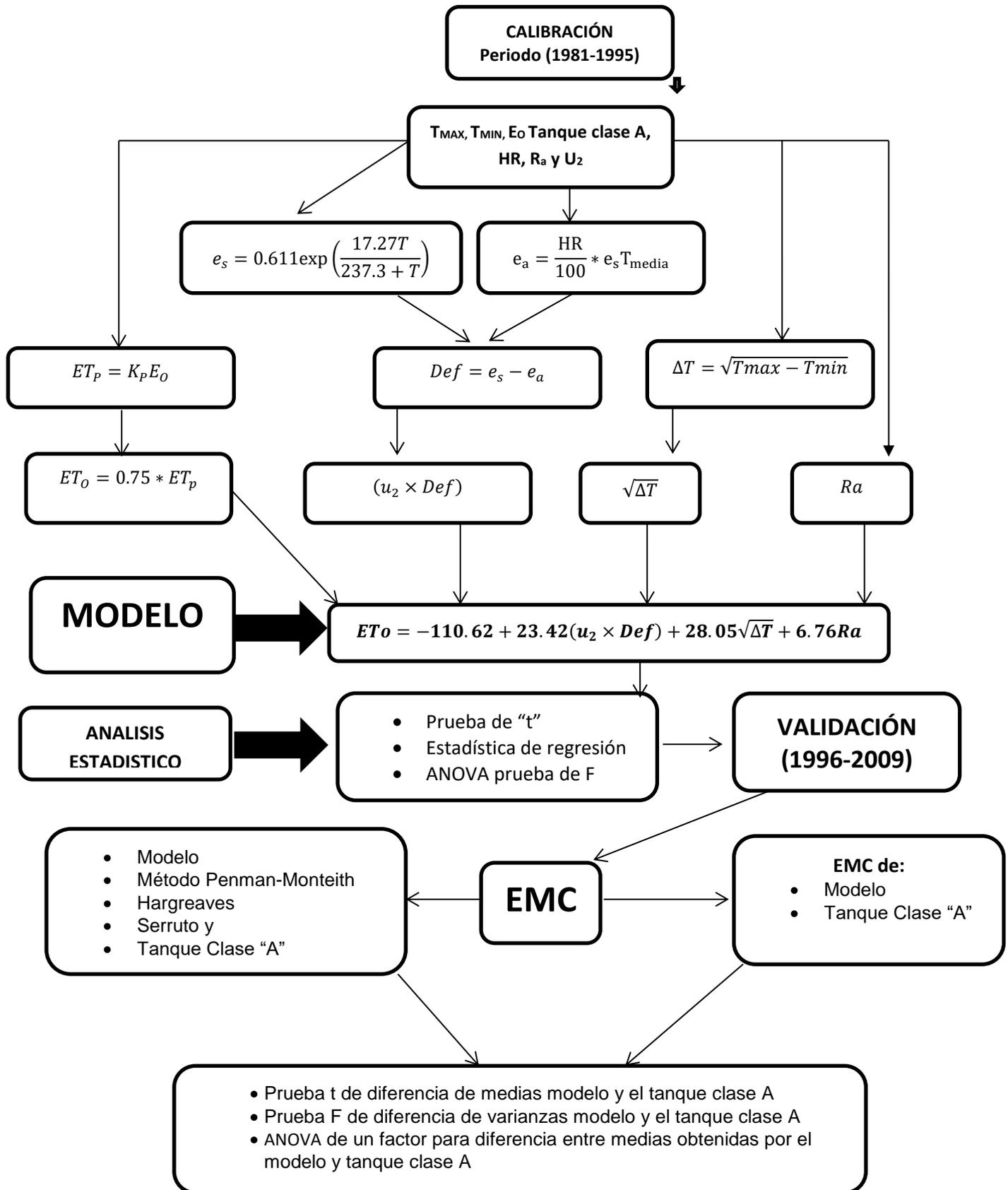
τ_i = efecto del tratamiento.

ε_{ij} = efecto verdadero (error experimental).

$i = 1, 2, \dots, t$

$j = 1, 2, \dots, r$

Esquema N° 1 muestra de forma esquemática los pasos seguidos en el procedimiento en la obtención del Modelo (ET_o)



IV.RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Características de los elementos climáticos del Altiplano

4.1.1. Precipitación

La distribución espacial de la precipitación media anual tiene un patrón decreciente de norte a sur. En general, varía de 200 a 1.400 mm, con sus máximos valores (entre 800 y 1.400 mm) sobre el Lago Titicaca, debido a la influencia propia de la gran masa de agua lacustre sobre la humedad atmosférica. Por fuera de la zona lacustre, la zona más lluviosa se encuentra en el extremo Norte de la región (cabeceras de los ríos Coata y Ramis), donde se alcanzan valores entre 800 y 1.000 mm. Luego se produce un decrecimiento paulatino de la lluvia en la región del altiplano hasta alcanzar 400 mm en el sector del Mauri, aproximadamente hacia la mitad de la región. Al Sur del río Mauri la precipitación sigue decreciendo hasta alcanzar la cifra de 200 mm en el extremo suroccidental (Salar de Coipasa). En los bordes longitudinales del altiplano la precipitación muestra una tendencia a aumentar, debido a la influencia de las cordilleras Occidental y Oriental (lluvias orográficas). Esta influencia es más marcada en la Cordillera Oriental debido a la influencia de los vientos húmedos procedentes de la Amazonia. Conviene anotar que esta cordillera constituye una barrera a los vientos amazónicos, los cuales descargan la mayor parte de su humedad en la vertiente oriental de la cordillera, produciendo un efecto de abrigo en el sector del altiplano.

De acuerdo con lo expresado a propósito del marco climático general, la distribución temporal de la lluvia es muy similar en toda la región: verano húmedo e invierno seco. Se trata de un régimen típicamente monomodal, con el período de lluvias de diciembre a marzo (máximo en enero) y el período seco de mayo a agosto (mínimo en junio-julio), siendo los meses restantes de transición. La concentración de la lluvia es mayor en el sur de la región. Así, los cuatro meses lluviosos llegan a concentrar hasta el 82-91 % del total anual en el sur de la región (estaciones de Charaña y Coipasa), mientras que en el sector norte estos mismos meses recogen entre el 66%, y el 73% (estaciones de Crucero y Desaguadero). A su vez, el cuatrimestre más seco representa entre 0 y 4% en el Sur, aunque en el norte apenas sube a un 5-7%. En general, el régimen de lluvias de la región es marcadamente irregular, lo cual constituye un gran limitante para las actividades agrícolas.

A nivel interanual, los años más lluviosos de los últimos 30 años fueron 1984, 1985 y 1986. La comparación de las lluvias de 1985 con la lluvia media anual muestra incrementos en aquel año entre el 20 % y el 85% en el Norte (la región alta), entre el 20% y el 50% en la región media y entre el 0 y el 50% en el Sur (región baja). A su vez, el año 1983 fue el menos lluvioso, con una precipitación inferior al 50% del promedio multianual en el conjunto del Sistema. En ambos casos se sufrieron pérdidas económicas cuantiosas en las actividades agropecuarias.

4.1.2. Temperatura

La temperatura depende de varios factores: la longitud (más frío al oeste que al este por la influencia de las masas de aire húmedo de la Amazonia), la altitud (la temperatura disminuye con la altitud), y el efecto termoregulador del Lago Titicaca. El sector noreste de la región es el que tiene las temperaturas medias más elevadas para todas las altitudes (2,9°C para 5.000 m), seguido por el sector sureste (0,8°C), el noroeste (0,1°C) y, finalmente, el Suroeste (-2,8°C). No obstante, para altitudes menores de 4.400 m.s.n.m. el sector noroeste presenta temperaturas superiores a las del sureste. Los gradientes térmicos para cada una de estas zonas son: entre 0,6°C en el noreste y 0,85°C por cada 100 m en el Suroeste. A nivel del altiplano, las temperaturas medias anuales varían entre 8,2°C -9,2°C en el norte y entre 7,9°C y 10,7°C en el sur. La estacionalidad térmica es moderada, con las temperaturas más altas de diciembre a marzo y las más bajas de junio a agosto. La amplitud térmica de las temperaturas medias mensuales varía entre 5,8°C - 6,5°C en el norte, y 7,8°C - 10,6°C en el sur. El mes más frío es por lo general julio y el mes más cálido diciembre. En las cercanías del Lago Titicaca esta amplitud disminuye a cerca de 3°C a 4°C y dentro del propio lago a 1,9°C (Isla del Sol). Si se consideran las temperaturas máximas y mínimas medias anuales, la oscilación térmica varía entre 17°C y 19°C en el norte y entre 19 y 21 °C en el sur, si bien en las cercanías del Lago Titicaca se acerca a 11°C y a 9,9°C dentro del lago. A nivel de las temperaturas máximas y mínimas medias mensuales, la oscilación térmica varía

notoriamente en el año; en invierno va desde 23°C a 25,5°C en el norte y desde 23°C a 26°C en el sur, si bien en las cercanías del lago ella desciende a 14°C y a 10,9°C dentro del lago; en verano la oscilación térmica media mensual varía entre 13°C y 14°C en el norte y entre 13,9°C y 17,4°C en el sur, aunque en las cercanías y dentro del lago baja a cerca de 9°C.

Las temperaturas máximas medias mensuales a nivel del altiplano varían entre 18°C y en el norte entre 20°C y 23°C en el sur, con valores entre 14 y 16°C en las cercanías y al interior del Lago Titicaca y por lo general corresponden al mes de noviembre. A su vez, las mínimas medias mensuales a nivel del altiplano varían entre -5°C y -7,4 °C en el norte y entre -9°C y -10°C en el sur, con valores cercanos a -1°C en las cercanías del lago y a 2,3°C dentro del mismo, siendo julio el mes más frío.

4.1.3. Vientos

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

se enfría más que el lago. En relación con la velocidad y la dirección del viento la situación es muy parecida a lo largo del año:

- En el norte (cabeceras de los ríos Coata y Ramis) predominan las calmas, frecuentemente por encima del 50% del tiempo, salvo en Pampahuta y Llally, donde los vientos predominantes son del S y SO (en Llally la velocidad puede llegar hasta 4,8 m/s). No obstante, en los meses de invierno la velocidad del viento tiende a ser mayor en cerca de 1 m/s a las velocidades de verano.
- En la zona del Lago Titicaca los vientos predominantes vienen del lago, con velocidades entre 2 y 4 m/s, aunque las calmas pueden alcanzar localmente valores bastante altos.
- En el oriente predominan los vientos de los cuadrantes del E (E, NE y SE), con velocidades entre 2 y 5 m/s, aunque las calmas pueden alcanzar porcentajes altos en algunas localidades.
- En el sur de la cuenca los vientos son variados en direcciones y velocidades, especialmente en el sector del Lago Poopó. En el Salar de Coipasa las calmas alcanzan por lo general valores muy altos, superiores al 67% y, en algunos meses, cercanos al 100%.

4.1.4. Humedad relativa

Los valores de la humedad relativa en general son bajos en todo el altiplano. El promedio anual en toda la región es del 54%, si bien ella varía desde 42-47% en el sur hasta 62-65% en las riberas del Lago Titicaca. Durante los meses de junio a octubre la humedad del aire es por

lo general igual o inferior al 50% en toda la región, mientras que en la estación de lluvias (diciembre a marzo) puede alcanzar hasta el 70%. A nivel diario, en general, la humedad relativa tiene un comportamiento inverso a la temperatura: baja al comienzo de la tarde y más elevada en la noche.

4.1.5. Presión atmosférica media

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

4.1.6. Radiación e insolación

La radiación solar global varía entre 462 cal/cm². día en Puno, en el norte de la región, y 518 cal/cm² día en Patacamaya, en el sur. No obstante, ella cambia significativamente en el transcurso del año. Así, en Puno va desde 390 en julio hasta 549 en noviembre, y en Patacamaya desde 457 en junio hasta 596 en noviembre.

En estrecha relación con la radiación, la insolación es de 3.005 horas de sol al año en Puno y 2.752 en Patacamaya, con una distribución en el año igualmente contrastada entre verano e invierno. En Puno el número promedio de horas de sol por día cambia de 9,6 en julio a 6,0 en enero; y en Patacamaya varía entre 8,8 y 5,4 en los mismos meses.

4.1.7. Evaporación

La humedad de la región, registrada en las estaciones climatológicas provistas por tanques de evaporación clase "A", se ha estimado en valores muy elevados que fluctúan por año entre un promedio de 1.450 mm, en las cercanías y en el mismo Lago Titicaca, a 1.900 mm por el sur del Sistema TDPS.

4.1.8. Evapotranspiración potencial

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

El régimen mensual de la ETP es similar en todo el Sistema TDPS. El máximo se presenta en verano (noviembre-marzo) y el mínimo en invierno (mayo-agosto).

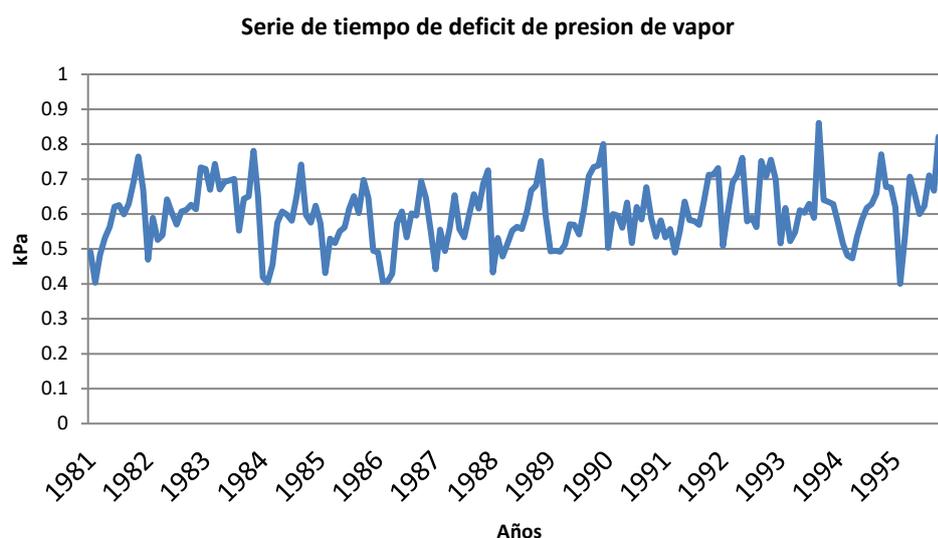
4.2. Análisis estadístico de las variables climáticas

Para poder determinar la relación entre la evapotranspiración de referencia, el viento y el déficit de presión de vapor, se realizó un modelamiento estadístico con ciertas bases físicas. Por tanto, se estableció periodos de calibración y validación del modelo. El primero es de 1981-1995 y el segundo de 1996-2005.

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

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

Figura N°3: Serie histórica de tiempo de déficit de presión de vapor

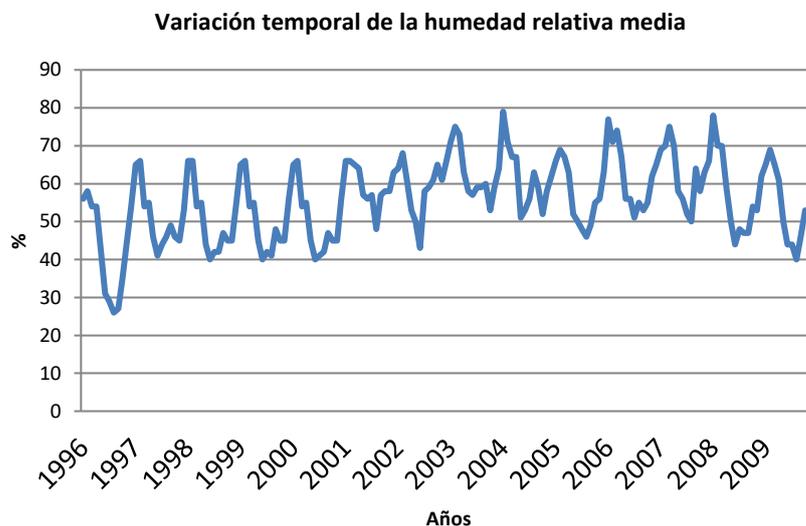


FUENTE: Tesista

Meses 1981-1995

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

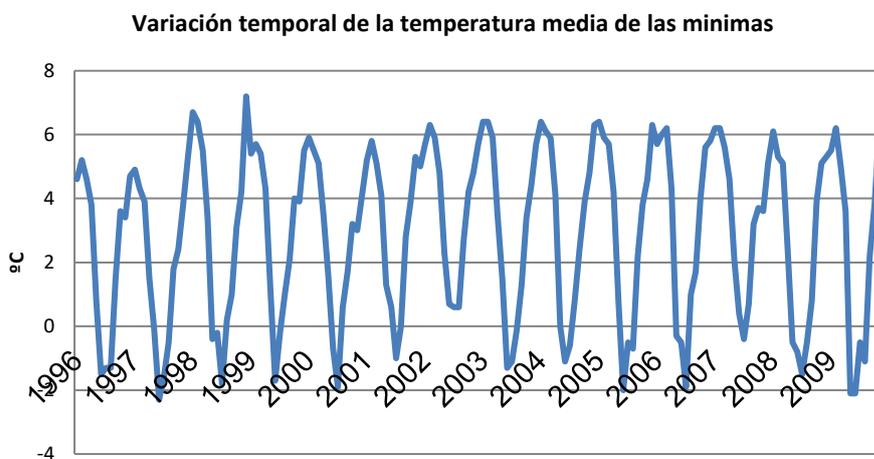
Figura N° 4: Variación temporal de la humedad relativa media



FUENTE: TesistaMeses 1996-2009

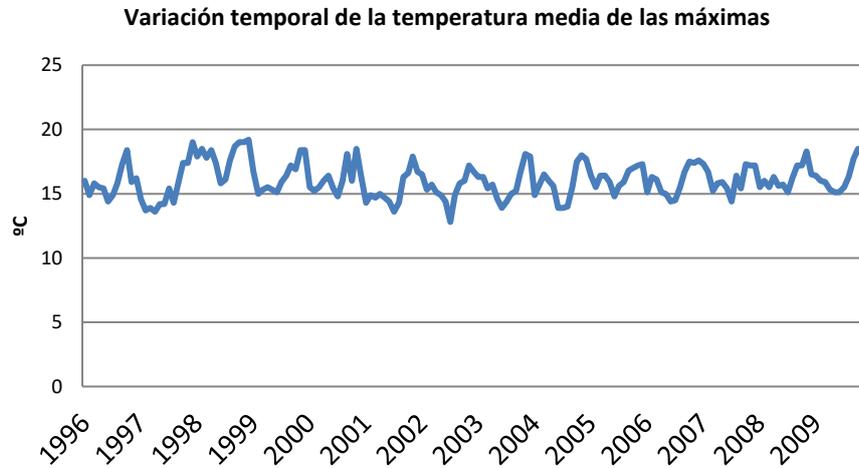
La temperatura media de las mínimas y media de las máximas poseen un comportamiento temporal que se presenta en la siguiente figura para el período de calibración.

Figura N° 5: Variación temporal de la temperatura media de las mínimas



FUENTE: TesistaMeses 1996-2009

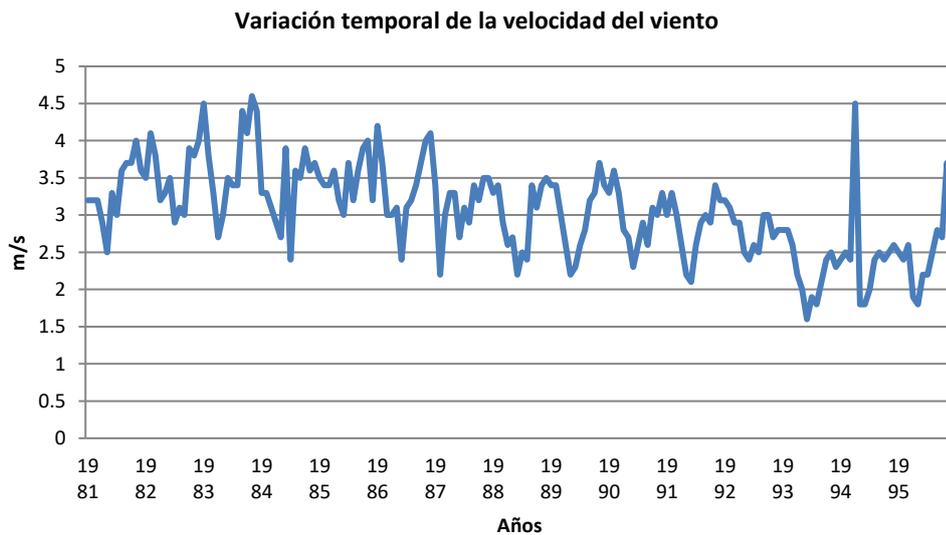
Figura N° 6: Variación temporal de la temperatura media de las máximas



FUENTE: Tesista Meses 1996-2009

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

Figura N° 7: Variación temporal de la velocidad del viento

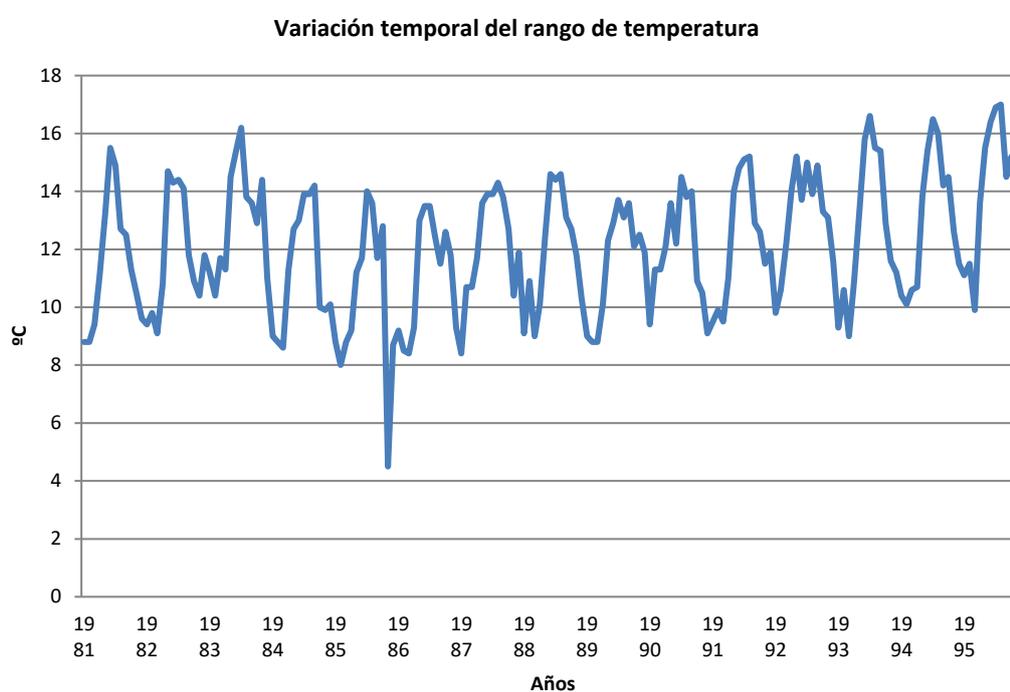


FUENTE: Tesista

Meses 1981-1995

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

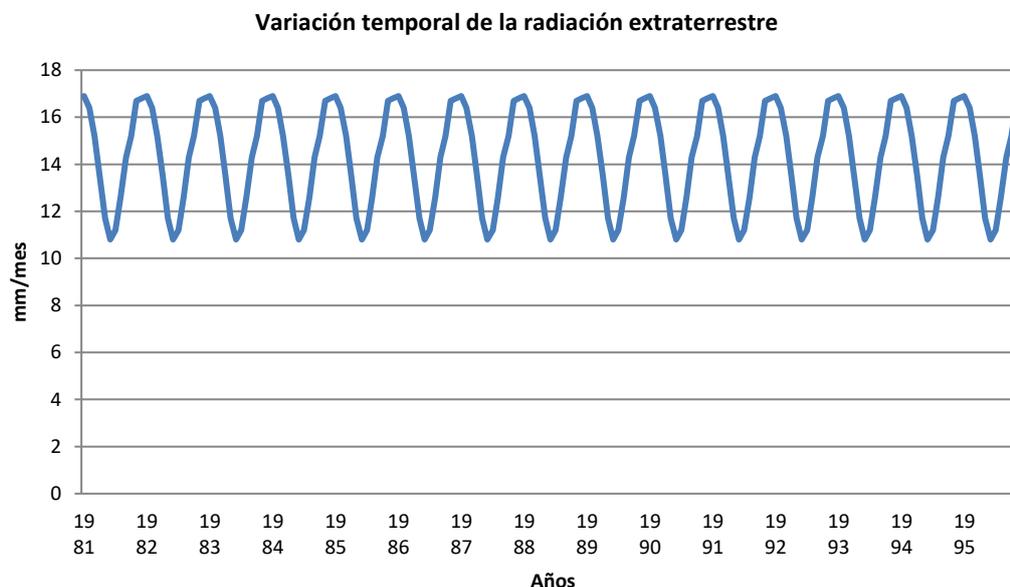
Figura N° 8: Variación temporal del rango de temperatura



FUENTE: Tesista

Meses 1981-1995

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

Figura N° 9: Variación temporal de la radiación extraterrestre**FUENTE:** TesistaMeses 1981-1995

4.3. Calibración de la relación (modelo)

Se estableció que el período de calibración es de 1981 – 1995. Con los datos de este período se estimó una relación funcional estadística entre la evapotranspiración de referencia, el déficit de presión de vapor, el viento y se adicionó dos términos que representen la energía de la radiación, estos términos fueron el rango de temperatura y la radiación extraterrestre.

El valor de evapotranspiración de referencia es la variable dependiente y se determinó por el método del tanque clase A. Este se tomó como valor observado muy cercano al valor real, debido a que en muchas investigaciones afirman que el tanque refleja el efecto combinado de las variables climáticas que afectan la evapotranspiración de referencia. El

valor del coeficiente del tanque se tomó como 0.75 un valor conservador, ya que se tiene variaciones del coeficiente desde 0.6 hasta 0.8; pero estos valores son muy influenciados por el viento, la humedad y la cobertura vegetal circundante al tanque. El viento varía mucho, la humedad posee un alto grado de desconocimiento debido a que se mide indirectamente, y la vegetación circundante en el caso especial de la estación Puno no se adecua a valores tabulares, porque la estación posee poca cobertura vegetal.

Las variables independientes fueron: el producto del viento por el déficit de presión de vapor, la raíz cuadrada del rango de temperatura y la radiación extraterrestre.

En el siguiente cuadro se muestra los resultados de la estimación de los parámetros de regresión lineal múltiple.

Cuadro Nº 3: Parámetros de relación (modelo) estimados mediante regresión lineal múltiple

<i>Variables</i>	<i>Coeficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Intercepción	-110.623016	20.6449706	-5.35835182	2.6048E-07	-151.366575	-69.8794573
Variable X 1	23.4192992	2.13623027	10.9629095	1.1979E-21	19.2033754	27.635223
Variable X 2	28.0463667	4.07912626	6.87558191	1.0338E-10	19.9960709	36.0966625
Variable X 3	6.75573714	0.65802309	10.2667174	1.1263E-19	5.45710597	8.05436832

FUENTE: Tesista

La variable X1 es igual al producto de la velocidad del viento y el déficit de presión de vapor. Según la prueba estadística t el coeficiente es significativamente diferente de cero al nivel de confianza de 95%, debido a que la probabilidad es menor a 5%.

La variable X2 es la raíz cuadrada del rango de temperatura, en este caso se rechaza la hipótesis nula que el coeficiente es igual a cero, por tanto el coeficiente es estadísticamente diferente de cero al 5% de significancia.

La variable X3 es la radiación extraterrestre, según la prueba t para el coeficiente este es significativamente diferente de cero al 95 % de confianza (5 % de nivel de significancia), por tanto la variable tiene gran influencia lineal en la predicción de la evapotranspiración de referencia al igual que las demás variables.

Cuadro N° 4: Estadísticas de regresión relación (molelo)

Coeficiente de correlación múltiple	0.84116181
Coeficiente de determinación R ²	0.70755318
R ² ajustado	0.70256830
Error típico	12.29999490
Observaciones	180.00000000

FUENTE: Tesista

El cuadro anterior muestra un coeficiente de correlación alto de 84%, lo que significa el alto grado de relación lineal entre las variables independientes y la variable dependiente.

El coeficiente de determinación de 70%, el cual es alto, indica que el 70% de la variación de la evapotranspiración de referencia es explicado por las variables independientes (velocidad del viento, déficit de presión de vapor, rango de temperatura y radiación extraterrestre).

Cuadro Nº 5: Állis de varianza de regresión relación (molelo)

<i>F. de V.</i>	<i>GL</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>Fc</i>	<i>Probabilidad</i>
Regresión	3	64422.0766	21474.0255	141.939609	9.2162E-47
Residuos	176	26627.0177	151.289873		
Total	179	91049.0943			

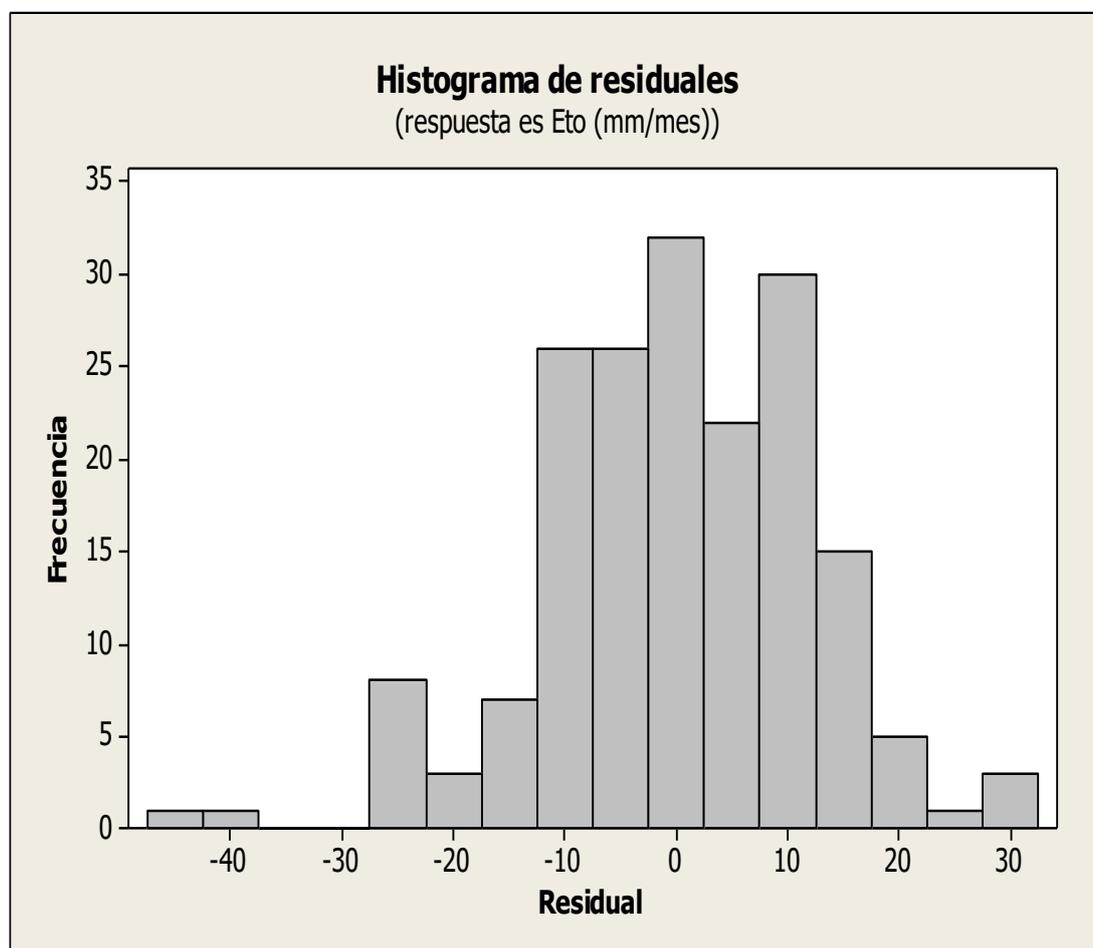
FUENTE: Tesista

El análisis de varianza de regresión, según la prueba F, donde la hipótesis nula es que $R^2 = 0$, concluye que F calculado es mayor a F teórico, ya que la probabilidad de excedencia es mucho menor que el nivel de significancia (5%), por tanto se rechaza la hipótesis nula que $R^2 = 0$. Lo cual significa que estadísticamente R^2 es diferente de cero, por tanto existe un coeficiente de determinación alto.

Existe diversas pruebas respecto a los residuales pero las más importantes son respecto a su distribución de probabilidad, que debe ser aproximadamente igual a la normal, y su variación constante (homocedasticidad).

En las siguientes figuras se muestran la distribución de probabilidad de los residuales y su varianza.

Figura N° 10: Histograma de residuales, distribución de probabilidad aproximada de relación (molelo)

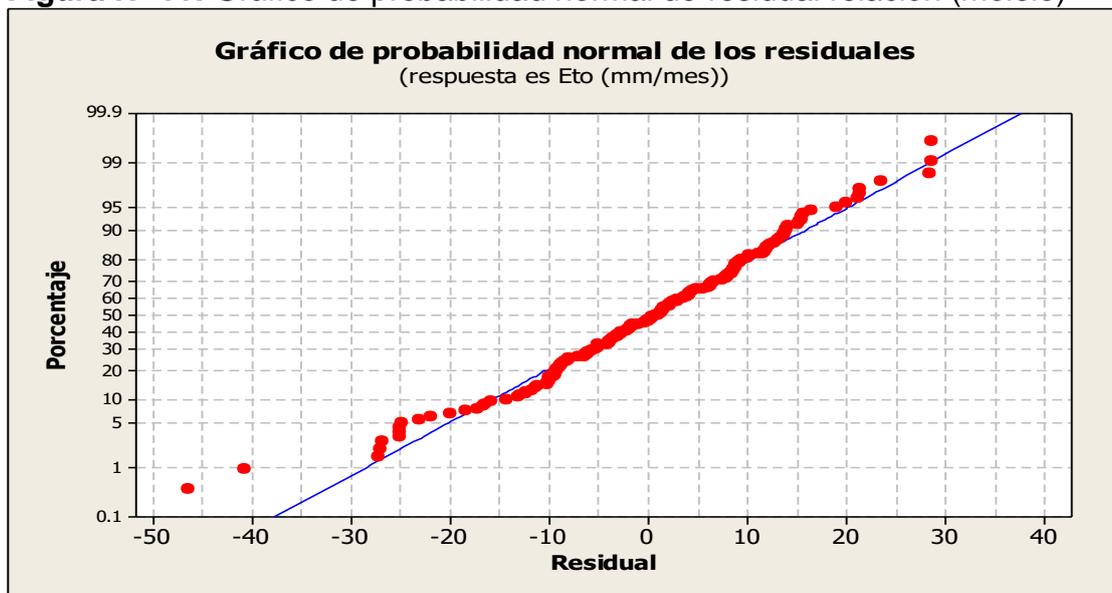


FUENTE: Tesista

Se puede observar que los residuales siguen una distribución aproximadamente normal, por consiguiente, el modelo estima bien los valores de evapotranspiración de referencia respecto al valor medio.

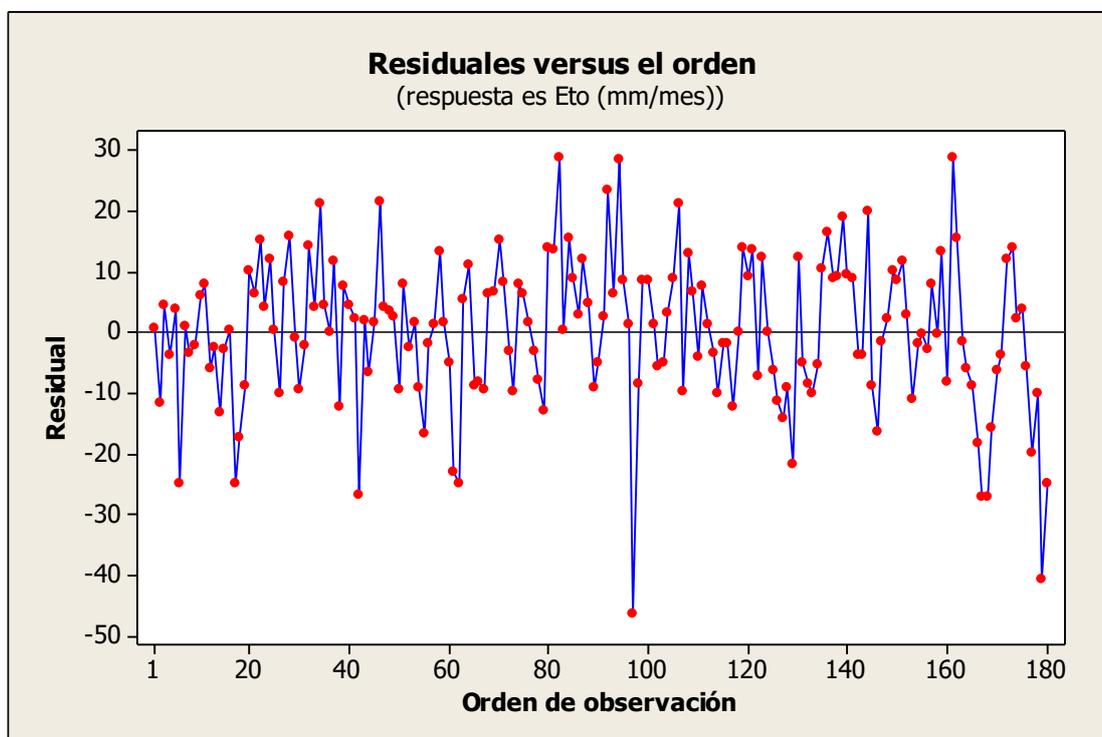
El gráfico de probabilidad de residuales mostrado a continuación muestra que los residuales se distribuyen normalmente, y es una prueba más del buen ajuste del modelo de regresión.

Figura Nº 11: Gráfico de probabilidad normal de residual relación (molelo)



FUENTE: Tesista

Figura Nº 12: Residuales versus el orden (variabilidad) de relación (molelo)



FUENTE: Tesista

En la figura anterior la variación de los residuales es aproximadamente constante lo que significa que el modelo no incrementa ni disminuye la variación respecto al orden de observación, esto indica el buen ajuste del modelo de regresión.

4.4.Relación estadística (modelo)

Puesto que el modelo pasó todas las pruebas estadísticas de regresión lineal múltiple, se presenta la siguiente relación entre la evapotranspiración de referencia, la velocidad del viento, el déficit de presión de vapor, el rango de temperatura y la radiación extraterrestre. La relación funcional es la siguiente

$$ET_o = -110.62 + 23.42(u_2 \times Def) + 28.05\sqrt{\Delta T} + 6.76Ra$$

Donde:

ET_o = evapotranspiración de referencia en mm/mes

u_2 = velocidad del viento medida a 2 metros de altura en m/s

Def = déficit de presión de vapor en kPa, se obtiene por la siguiente ecuación:

$$Def = e_s - e_a$$

Donde:

e_s = presión de vapor de saturación en kPa, se obtiene por:

$$e_s = 0.6108 \exp\left(\frac{17.27T}{T + 237.3}\right)$$

T = temperatura media en °C

e_a = presión de vapor real en kPa, se obtiene por:

$$e_a = \frac{HR \times e_s}{100}$$

HR = humedad relativa media en (%)

ΔT = rango de temperatura en °C, se obtiene de:

$$\Delta T = T_{max} - T_{min}$$

T_{max} = temperatura media de las máximas en °C

T_{min} = temperatura media de la mínimas en °C

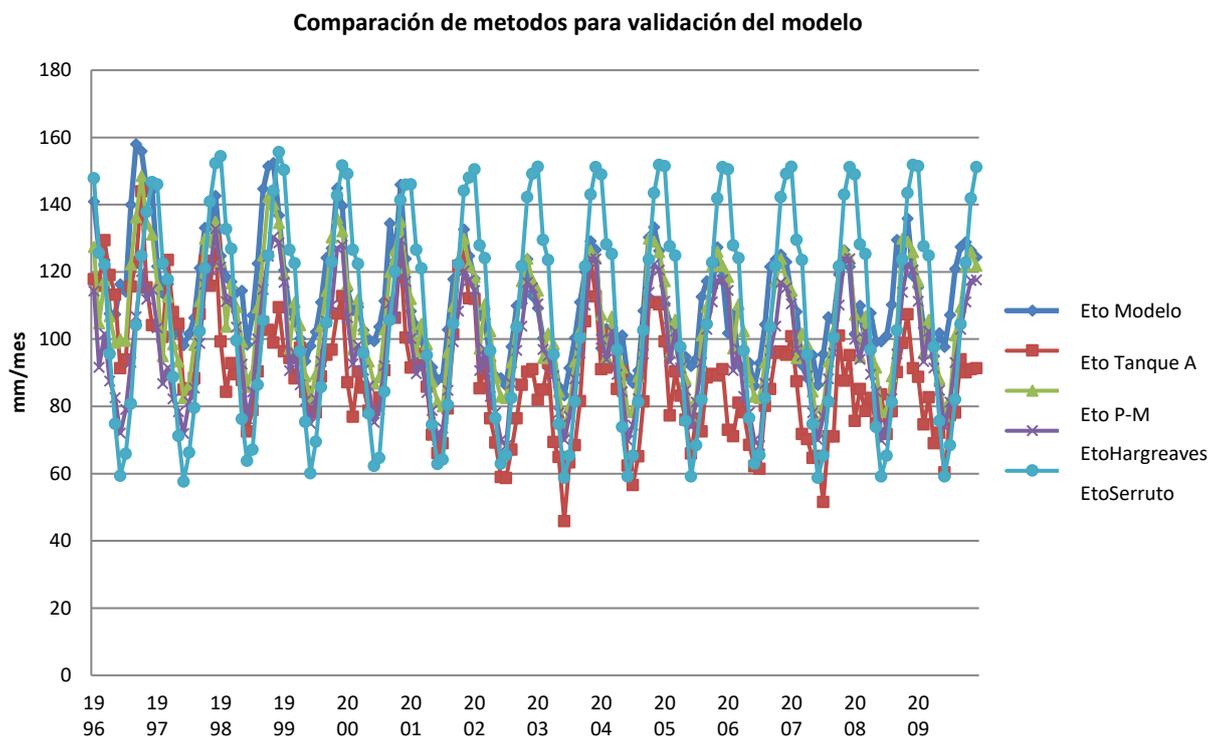
Ra = radiación extraterrestre en mm/mes.

4.5. Validación de la relación estadística (modelo)

Para validar la relación estadística se comparó la evapotranspiración de referencia obtenida aplicando esta ecuación, con la evapotranspiración de referencia obtenida por el método del tanque clase A, el método de Penman-Monteith recomendado por la FAO, el método de Hargreaves recomendado por la FAO y el método de Serruto.

Los valores comparados se obtuvieron para el período de validación 1996-2009, la siguiente figura muestra la variación temporal de los valores comparados simultáneamente.

Figura N° 13: Comparación de métodos para validación del modelo



FUENTE: Tesista

Se observa que el modelo (relación obtenida) se aproxima muy bien a los valores de evapotranspiración de referencia obtenidos por el tanque clase A el que se considera muy cercano al real, del mismo modo los métodos de Penman-Monteith y Hargreaves. El caso del método de Serruto sobredimensiona y subdimensiona la evapotranspiración de referencia.

Para mayor detalle se calculó el error medio cuadrático (EMC) respecto a la evapotranspiración de referencia del tanque clase A, en el siguiente cuadro se muestra los resultados.

Cuadro N° 6. Error medio cuadrático respecto a la evapotranspiración de referencia obtenida con tanque clase A

	Modelo	P-M	Hargreaves	Serruto
EMC (mm ² /mes)=	327.485948	406.471615	681.867793	1046.92315

FUENTE: Tesista

El cuadro anterior muestra que el modelo (relación) obtenido posee el menor error medio cuadrático, que el método de Penman-Monteith (P-M), de Hargreaves y de Serruto, por lo tanto, el modelo estima mejor la evapotranspiración de referencia que los demás modelos para el período de validación, por tanto es adecuado para estimar este parámetro de riego para la estación Puno.

Para determinar si el modelo produce valores de evapotranspiración de referencia estadísticamente iguales a los obtenidos por el método del tanque clase A, se realizó una prueba t de diferencia de medias, F de diferencia de varianzas y un análisis de varianza de un factor para la prueba de medias de igualdad de dos medias. Todas las pruebas se realizaron para el período de validación. En el siguiente cuadro se muestra los resultados de la prueba t.

Cuadro N° 7. Prueba t de diferencia de medias de los valores obtenidos por el modelo y el tanque clase A

	<i>Eto (mm/mes) Modelo</i>	<i>Eto (mm/mes) Modelo Tanque A</i>
Media	111,4471462	89,27321429
Varianza	270,8659235	311,3338441
Observaciones	168	168
Varianza agrupada	291,0998838	
Significancia	0,05	
Grados de libertad	334	
Estadístico tcal =	11,9113596	
t teo =	±1,967091894	

FUENTE: Tesista

1. *Hipótesis nula:* $H_0: \mu_A = \mu_B$
Hipótesis alternativa: $H_1: \mu_A \neq \mu_B$
2. *Nivel de significancia:* $\alpha = 0.05$
3. *Criterio:* Se rechaza la hipótesis nula si tcal no está en el intervalo,
 $-1,967091894 < t < 1,967091894$
4. *Decisión:* Dado que $tcal = 11,911$ no pertenece al intervalo, la hipótesis nula debe rechazarse

La hipótesis nula postulada en la prueba es que las medias son iguales estadísticamente, el valor de t calculado esta fuera del rango, por tanto, se rechaza esta hipótesis, y el modelo sobreestima ligeramente el valor de evapotranspiración de referencia respecto al obtenido con el tanque clase A, todo al nivel de significancia de 5%.

El siguiente cuadro muestra el resultado de la prueba F.

Cuadro 8. Prueba F de diferencia de varianzas de los valores obtenidos por el modelo y el tanque clase A

F cal =	0.90768755	gl num =	167.0000	
		gl den =	167.0000	
		sig. =	0.0500	
		F teo =	1.35361	
Decisión	se acepta	la hipótesis nula		

FUENTE: Tesista

El valor de F calculado es menor al valor teórico por lo que se acepta la hipótesis nula que las varianzas son iguales estadísticamente al 5% de nivel de significancia. Según lo cual el modelo representa bien la variabilidad de la evapotranspiración de referencia tanto como el tanque clase A.

El cuadro siguiente muestra los resultados del análisis de varianza de un factor.

Cuadro N° 9. Análisis de varianza de un factor para diferencia entre medias obtenidas por el modelo y tanque clase A

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	41301,3934	1	41301,3934	141,880487	1,67128E-27	3,869450521
Dentro de los grupos	97227,36119	334	291,099884			
Total	138528,7546	335				

FUENTE: Tesista

El valor de F calculado es 141,88 y es mayor al valor crítico o teórico, por consiguiente, se rechaza la hipótesis nula que las medias son iguales al nivel de significancia de 5%. Entonces el modelo sobreestima ligeramente

el valor de evapotranspiración de referencia respecto al tanque clase A, esto se debe principalmente a que los datos utilizados en la calibración son mayores a los utilizados para validación, pero, estos reflejan la disminución de la evapotranspiración de referencia en los últimos años, probablemente por algún cambio climático.

V.CONCLUSIONES

1. La relación entre la evapotranspiración de referencia es lineal con el producto entre la velocidad del viento y el déficit de presión de vapor, además la relación se compone de dos términos que representan la influencia de la temperatura y la radiación extraterrestre, para condiciones climáticas de la estación Puno.
2. Los coeficientes de regresión lineal múltiple son estadísticamente significativos y diferentes de cero, para todas las variables independientes como son el producto del viento por el déficit de presión de vapor, el rango de temperatura y la radiación extraterrestre, esto también se confirma con el alto valor de coeficiente de correlación de 84% y de determinación de 71%.
3. La relación obtenida posee ciertas bases físicas, los términos de velocidad de viento y déficit de presión de vapor representan el factor aerodinámico, y los términos de temperatura y radiación extraterrestre representan el factor del balance de energía, todos estos factores influyen en la evapotranspiración de referencia.
4. La relación estima mejor la evapotranspiración de referencia que los métodos recomendados por la FAO como son Penman-Monteith y Hargreaves, además supera en su estimación al método de Serruto. Debido a que tiene un menor error medio cuadrático respecto a la evapotranspiración de referencia obtenida con tanque clase A.
5. El modelo (o relación) obtenido caracteriza muy bien la variación de la evapotranspiración de referencia, siendo su variación estadísticamente igual al valor obtenido con tanque clase A, y sobreestima ligeramente la media debido a que los valores de evapotranspiración de referencia en la calibración son mayores a los de la validación, esto indica una disminución de la evapotranspiración de referencia en los últimos diez años producto probablemente de un cambio climático.

VI.RECOMENDACIONES

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

VII.BIBLIOGRAFÍA

1. ALCÁNTARA R. J. (1986) “ Calculo de la Demanda de Agua de un Proyecto de Riego” Asociación de Ingenieros Agrícolas del Perú. Curso de Hidrología Aplicada. Lima –Perú
2. ALLEN, R. PEREIRA, L. RAES, D. and SMITH, M. (1998). “Crop Evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requeriments – FAO Irrigation and Drainage Paper 56”. FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. Italy.
3. American Society of Civil Engineers. (1973). Consumptive use of wáter and irrigation wáter requirements, ed. By M. E. Jensen, Technical Commitee on Irrigation Water Requirements, New York.
4. APARICIO MIJARES, F.J.(1993) “Fundamentos de Hidrología de Superficie” Editorial Limusa S.A. de C.V. Grupo Noriega Editores – México.
5. CHANG – NAVARRO L.(1993) “El Manejo de las Cuencas Hidrográficas en el Perú” Proyecto Fomento de la Transferencia de la Tecnología. Lima- Perú 12 Pág.
6. CHEREQUE M, W. (1989) “Hidrología” CONCYTEC Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima – Perú. 146. Pág.
7. CHOW, V. T., MAIDMENT, D. R. y MAYS, L. W. (1994). Hidrología aplicada. Primera Edición. McGRAW-HILL. Santafé de Bogotá, Colombia, 584 p.

8. DOORENBOS, J. Y Pruittt, W.O.(1977) “Las necesidades de Agua por los Cultivos” FAO. Naciones Unidas Roma. Italia. Publicación N° 24)
9. DOUROJEANNI R.A.(1978) “Principios para Elaborar un Plan de Protección de Cuencas”, boletín técnico N° 11 Ministerio de Agricultura Lima – Perú 24.Pág.
10. FUENTES YAGUE. J. L. (1996) “Técnicas de Riego” Segunda Edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid España. 471 pág.
11. GARCIA BENAVIDES, J. y LÓPEZ DÍAZ, J. (1970). “Fórmula para el cálculo de la evapotranspiración potencial adaptada al trópico”. Centro de Investigaciones Agronómicas, Maracay, Venezuela.
12. GARCÍA V., J., SÁNCHEZ C., O. y PAREDES R., M. (1999). “Métodos de estimación de la evapotranspiración potencial en función del rango diurno de temperatura (DT) y radiación solar extraterrestre (Qs)”. Anales Científicos. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima. Perú.
13. GUROVICH R., L. A. (1999). “Riego superficial tecnificado”. Segunda edición. Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V. Mexico, D.F. México.
14. HARNET, D. L. y MURPHY, J. L. (1980). “Introductory Statistical Analysis”. Addison Wesley, Massachussets, USA, 712 p.
15. IRMAK, S. y HAMAN, D. Z. (2003). “Evapotranspiration: Potential or Reference?”. Series of the Agricultural and Biological Engineering

- Department, Institute of Food and Agricultural Sciences (IFAS),
University of Florida. Florida, EE.UU, 3 p.
16. MEJÍA M. A. (2001) "Hidrología Aplicada" Vol. I Lima – Perú 108
Pág.
17. OLARTE, Walter. (1987). "Manual de Riego por Gravedad" Serie
Manuales Técnico N°1 CCTA-PERÚ (1987).
18. ONERN, (1980). "Inventario y Evaluación Nacional de las Aguas
Superficiales" Lima – Perú.
19. ONERN, (1980). "Plan Nacional de Ordenamiento de los Recursos
Hidráulicos del Perú – Bases Metodológicas, OEA – CIDIAT –
ONERN, Lima – Perú.
20. RAUDKIVI, A. J. (1979). Hydrology, Pergamon Press, Oxford.
21. SANTAYANA V.S. (1990). "Ingeniería de Recursos Hídricos"
Departamento de Recursos Agua y Tierra de UNALM Lima – Perú.
22. SERRUTO COLQUE R.A. (1993). "Una Nueva Fórmula para el
Círculo de la Evapotranspiración Potencial" PIWA Puno-Perú 28
Pág.
23. SESA, (1982). "Manual Silvo Agropecuario" Guía para elaboración
de diagnósticos Tomo II Cajamarca – Perú 136 Pág.
24. VÁSQUEZ V.A. y CHANG. (1992). "El Riego" Principios Básicos
parte I, Lima – Perú 160 Pág.
25. VÁSQUEZ V. A. (1992). "Manejo De Cuencas Alto andinas" Tomo
Impreso en Perú. 512 Pág.

INFORMACION: TEMPERATURA MÁXIMA

ESTACION: CO.120708
 Período : 1981-2009
 Unidad : °C

DEPARTAMENTO: PUNO
 PROVINCIA: PUNO DISTRITO:
 PUNO

LAT: 15°49'39.5"
 LONG: 70°00'43.5"
 ALT. 3820 msnm.

AÑO	ENER	FEB.	MAR.	ABRIL	MAY.	JUN.	JUL.	AGOT.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
1981	14.8	13.9	14.1	13.7	13.4	12.8	13.0	12.6	13.2	14.7	15.8	15.5
1982	14.0	15.2	14.5	13.5	13.5	12.4	12.5	13.5	13.4	14.6	15.5	16.1
1983	17.3	16.2	17.3	16.1	15.6	14.8	15.5	14.2	15.3	15.1	17.1	15.8
1984	13.7	13.5	13.9	14.4	14.0	13.2	12.3	13.3	14.3	14.6	14.6	15.0
1985	14.0	13.2	14.1	13.6	13.4	12.1	12.3	13.8	13.9	15.1	13.3	13.4
1986	14.2	13.4	13.4	13.4	12.6	12.3	11.1	12.5	13.1	14.7	15.5	14.6
1987	14.2	15.1	14.7	14.8	14.8	13.1	12.7	14.3	15.7	15.8	16.0	17.3
1988	15.1	15.9	14.5	14.3	14.1	12.9	13.1	14.6	15.6	15.7	16.2	15.3
1989	14.2	13.8	13.7	13.6	13.4	12.9	12.1	13.6	15.5	16.0	15.8	16.7
1990	14.7	15.3	15.2	15.0	14.8	11.9	13.1	13.5	14.8	15.1	15.1	15.0
1991	14.9	15.4	14.7	14.5	14.1	12.8	13.1	14.3	14.3	15.8	15.6	16.1
1992	14.7	15.1	15.9	16.5	15.8	13.3	13.3	13.0	15.9	15.8	16.2	16.3
1993	14.3	14.8	14.0	15.0	14.7	13.8	15.5	15.2	16.7	16.5	16.6	17.2
1994	16.1	15.4	15.0	14.8	14.6	13.8	14.7	15.4	16.2	17.2	17.2	16.6
1995	16.6	16.5	14.9	16.7	15.8	14.7	15.5	17.0	16.8	18.5	17.7	15.9
1996	16.0	14.9	15.8	15.5	15.4	14.4	14.9	15.8	17.3	18.4	15.9	16.2
1997	14.6	13.7	13.9	13.6	14.2	14.2	15.4	14.3	15.9	17.4	17.4	19.0
1998	17.9	18.5	17.8	18.4	17.4	15.8	16.1	17.6	18.7	19.0	19.0	19.2
1999	16.7	15.0	15.3	15.5	15.3	15.1	15.9	16.4	17.2	16.9	18.4	18.4
2000	15.5	15.2	15.5	16.0	16.4	15.4	14.8	16.0	18.1	16.0	18.5	16.3
2001	14.3	14.9	14.7	15.0	14.7	14.4	13.6	14.3	16.3	16.6	17.9	16.7
2002	16.5	15.3	15.7	15.1	14.9	14.4	12.8	14.9	15.8	16.0	17.2	16.7
2003	16.3	16.3	15.4	15.7	14.6	13.9	14.4	15.0	15.2	16.7	18.1	17.9
2004	14.9	15.7	16.5	16.0	15.6	13.9	13.9	14.0	15.7	17.5	18.0	17.7
2005	16.4	15.5	16.4	16.4	15.9	14.8	15.6	15.9	16.8	17.0	17.2	17.3
2006	15.1	16.3	16.1	15.1	15.0	14.4	14.5	15.5	16.7	17.5	17.4	17.6
2007	17.3	16.7	15.2	15.8	15.9	15.4	14.4	16.4	15.4	17.3	17.2	17.2
2008	15.5	16.0	15.5	16.3	15.6	15.7	15.1	16.2	17.2	17.2	18.3	16.5
2009	16.4	16.0	15.9	15.3	15.1	15.1	15.5	16.3	17.7	18.5	18.0	17.8

FUENTE: SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA-SENAMHI-PUNO

INFORMACION: TEMPERATURA MÍNIMA

DEPARTAMENTO: PUNO
 PROVINCIA: PUNO
 DISTRITO: PUNO

LAT: 15°49'39.5"
 LONG: 70°00'43.5"
 ALT. 3820 msnm.

ESTACION: CO. 120708
 Periodo : 1981-2009
 Unidad : °C

AÑOS	ENER.	FEB.	MAR.	ABRIL.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOT.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
1981	6.0	5.1	4.7	2.6	0.2	-2.7	-1.9	-0.1	0.7	3.4	5.3	5.9
1982	5.4	5.4	5.4	2.7	-1.2	-1.9	-1.9	-0.6	1.6	3.7	5.1	4.8
1983	6.1	5.8	5.6	4.8	1.1	-0.6	-0.7	0.4	1.7	2.2	2.7	4.8
1984	4.7	4.7	5.3	3.1	1.3	0.2	-1.6	-0.6	0.1	4.6	4.7	4.9
1985	5.2	5.2	5.3	4.4	2.2	0.4	-1.7	0.2	2.2	2.3	3.8	4.7
1986	5.0	4.9	5.0	4.1	-0.4	-1.2	-2.4	0.1	1.6	2.1	3.7	5.3
1987	5.8	4.4	4.0	3.1	1.2	-0.8	-1.2	0.0	1.9	3.1	5.6	5.4
1988	6.0	5.0	5.5	4.2	1.6	-1.7	-1.3	0.0	2.5	3.0	4.4	5.0
1989	5.0	5.0	4.9	3.5	1.1	0.0	-1.6	0.5	1.9	3.9	3.3	4.8
1990	5.3	4.0	3.9	2.9	1.2	-0.3	-1.4	-0.3	0.8	4.2	4.6	5.9
1991	5.4	5.5	5.2	3.5	0.1	-2.0	-2.0	-0.9	1.4	3.2	3.5	4.2
1992	4.9	4.5	3.7	2.5	0.6	-0.4	-1.7	-0.9	1.0	2.5	3.1	4.7
1993	5.0	4.2	5.0	4.1	1.3	-2.0	-1.1	-0.3	1.3	3.6	5.0	6.0
1994	5.7	5.3	4.4	4.1	0.8	-1.6	-1.8	-0.6	2.0	2.7	4.6	5.1
1995	5.5	5.0	5.0	3.1	0.3	-1.7	-1.4	0.0	2.3	3.3	4.5	3.9
1996	4.6	5.2	4.6	3.8	0.8	-1.5	-1.3	-1.3	1.5	3.6	3.4	4.7
1997	4.9	4.3	3.9	1.5	-0.1	-2.3	-1.6	-0.5	1.8	2.4	3.8	5.3
1998	6.7	6.4	5.5	3.4	-0.4	-0.2	-1.8	0.2	1.0	3.1	4.2	7.2
1999	5.4	5.7	5.4	4.3	1.2	-1.7	-0.2	1.0	2.1	4.0	3.9	5.5
2000	5.9	5.5	5.1	3.5	1.6	-0.7	-1.9	0.6	1.7	3.2	3.0	4.1
2001	5.2	5.8	5.1	4.1	1.3	0.6	-1.0	0.0	2.8	3.9	5.3	5.0
2002	5.7	6.3	5.9	4.8	2.3	0.7	-0.6	0.6	2.7	4.2	4.8	5.7
2003	6.4	6.4	5.9	3.5	1.5	-1.3	-1.1	-0.1	1.3	3.4	4.4	5.7
2004	6.4	6.1	5.9	4.1	0.0	-1.1	-0.6	0.8	2.4	3.9	4.8	6.3
2005	6.4	5.9	5.7	4.2	0.8	-2.0	-0.5	-0.7	2.2	3.8	4.6	6.3
2006	5.7	6.0	6.2	4.3	-0.3	-0.5	-1.9	1.0	1.7	4.0	5.6	5.8
2007	6.2	6.2	5.6	4.6	2.1	0.4	-0.4	0.7	3.2	3.7	3.6	5.1
2008	6.1	5.3	5.1	2.4	-0.5	-0.8	-1.5	-0.5	0.8	3.9	5.1	5.3
2009	5.5	6.2	5.0	3.6	-2.1	-2.1	-0.5	-1.1	2.2	3.8	6.3	6.1

FUENTE: SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA-SENAMHI-PUNO

INFORMACION: EVAPORACIÓN TOTAL

DEPARTAMENTO: PUNO
 PROVINCIA: PUNO
 DISTRITO: PUNO

LAT: 15°49'39.5"
 LONG: 70°00'43.5"
 ALT. 3820 msnm.

ESTACION: CO. 120708
 Periodo : 1981-2009
 Unidad : mm/mes

AÑOS	ENER.	FEB.	MAR.	ABRIL.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOT.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
1981	165.8	135.9	158.2	141.6	142.6	127.7	157.7	162.0	183.3	203.2	238.1	186.8
1982	167.6	175.1	161.1	151.6	134.1	134.1	135.0	178.7	175.6	209.5	202.0	239.9
1983	232.9	186.9	204.9	177.3	163.9	159.9	175.5	182.5	213.2	235.4	263.0	217.4
1984	175.6	136.5	153.1	157.8	145.2	121.8	139.0	170.0	205.5	209.0	190.9	199.5
1985	181.6	139.2	167.3	142.1	140.0	117.9	142.1	166.4	178.6	225.8	165.1	157.0
1986	151.6	122.7	143.2	143.3	136.5	121.8	130.0	166.1	180.3	224.6	223.2	184.2
1987	146.8	171.3	166.3	162.0	159.0	125.5	127.3	174.9	208.1	222.4	199.2	232.8
1988	173.9	184.0	160.8	144.1	124.3	124.6	142.3	185.5	196.2	226.7	222.5	190.7
1989	98.2	80.7	78.3	88.4	109.3	108.4	114.4	94.3	85.4	117.8	93.1	186.6
1990	160.6	142.1	157.1	154.4	146.0	134.2	140.4	171.5	180.4	221.3	242.2	187.9
1991	160.2	143.4	156.8	151.4	146.9	135.4	140.9	171.8	182.5	221.5	232.5	193.4
1992	160.2	143.3	153.6	148.7	143.4	131.9	141.7	170.8	183.1	219.7	235.1	192.3
1993	161.0	145.3	156.1	138.1	146.5	140.1	158.7	150.3	169.7	169.4	179.4	170.2
1994	172.0	147.5	159.7	152.2	165.2	149.9	141.8	154.6	162.0	165.2	152.4	149.5
1995	156.6	145.9	145.6	155.4	160.6	145.4	155.2	168.0	155.4	191.1	170.0	160.7
1996	157.1	154.4	172.5	158.7	150.8	121.7	125.2	154.1	163.8	191.9	153.8	138.8
1997	138.5	134.1	164.7	144.0	139.3	113.2	113.7	117.8	143.3	164.3	154.4	171.7
1998	132.4	112.3	123.7	119.3	117.0	96.7	105.1	120.5	140.0	136.9	131.9	145.9
1999	128.5	127.8	117.7	129.8	112.3	106.1	104.2	118.5	127.0	129.1	143.4	150.3
2000	116.2	109.5	120.3	114.0	104.9	105.1	110.1	121.0	147.7	141.8	166.8	133.9
2001	122.0	123.2	127.4	114.4	95.4	88.0	92.0	105.8	135.2	162.4	166.0	149.5
2002	149.2	113.8	122.5	101.9	92.2	78.6	78.2	89.5	101.9	115.2	120.4	121.4
2003	109.2	113.3	123.9	92.5	86.5	61.1	84.4	91.2	108.7	140.3	164.5	150.2
2004	121.3	122.0	136.0	113.5	120.5	83.1	75.4	86.8	108.6	147.8	148.0	147.0
2005	132.4	103.0	120.5	110.9	101.3	87.9	101.7	96.6	118.1	119.5	118.8	121.3
2006	97.3	94.8	108.0	104.3	91.4	82.8	81.8	106.8	113.5	127.8	128.3	127.1
2007	134.4	116.5	95.6	93.6	86.1	86.9	68.7	94.7	94.6	134.6	116.8	126.9
2008	100.8	113.5	104.7	109.9	100.0	111.3	95.7	104.6	120.2	131.7	143.1	121.7
2009	118.3	99.5	110.2	92.0	96.2	80.4	103.1	104.1	125.3	120.1	121.4	121.7

FUENTE: SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA-SENAMHI-PUNO

INFORMACION: HUMEDAD RELATIVA

DEPARTAMENTO: PUNO
 PROVINCIA: PUNO
 DISTRITO: PUNO

LAT: 15°49'39.5"
 LONG: 70°00'43.5"
 ALT. 3820 msnm.

ESTACION: CO. 120708
 Periodo : 1981-2009
 Unidad : %

AÑOS	ENER.	FEB.	MAR.	ABRIL.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOT.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
1981	61	66	59	51	43	29	31	37	37	40	40	48
1982	62	53	57	50	32	32	36	37	41	46	51	43
1983	47	49	45	47	37	31	32	46	42	42	36	48
1984	64	65	62	49	42	39	35	32	27	50	52	49
1985	52	63	56	55	48	41	31	35	44	38	51	57
1986	59	65	65	62	39	33	36	37	42	37	46	55
1987	64	54	58	51	39	41	42	41	42	48	47	46
1988	66	58	61	56	48	38	40	41	42	42	40	52
1989	59	58	58	54	44	41	39	39	37	40	38	38
1990	59	50	50	51	41	44	33	40	36	51	56	54
1991	57	56	60	52	37	35	36	42	40	40	39	41
1992	58	50	43	40	30	40	36	40	32	39	37	45
1993	57	48	56	54	43	35	38	43	25	48	51	54
1994	56	59	60	60	49	38	36	39	43	37	48	48
1995	53	69	56	42	39	38	38	36	44	37	44	47
1996	56	58	54	54	43	31	29	36	27	35	45	54
1997	61	65	66	54	46	41	44	46	49	46	45	53
1998	63	66	66	54	44	40	42	42	47	45	45	55
1999	65	65	66	54	45	40	42	41	48	45	45	56
2000	65	65	66	54	45	40	41	42	47	45	45	56
2001	66	66	65	64	57	56	57	48	57	58	58	63
2002	67	68	61	53	50	43	58	59	61	65	61	66
2003	71	71	73	63	58	57	59	59	60	53	59	64
2004	79	71	67	67	51	53	56	63	59	52	58	62
2005	66	69	67	63	52	50	48	46	49	55	56	63
2006	77	71	74	67	56	56	51	55	53	55	62	65
2007	69	70	75	70	58	56	52	50	64	58	63	66
2008	78	70	70	59	50	44	48	47	47	54	53	62
2009	65	69	65	61	50	44	44	40	46	53	50	59

FUENTE: SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA-SENAMHI-PUNO

INFORMACION: VELOCIDAD DE VIENTO

DEPARTAMENTO: PUNO
 PROVINCIA: PUNO
 DISTRITO: PUNO

LAT: 15°49'39.5"
 LONG: 70°00'43.5"
 ALT. 3820 msnm.

ESTACION: CO. 120708
 Periodo : 1981-2009
 Unidad : m/seg.

AÑOS	ENER.	FEB.	MAR.	ABRIL.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOT.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
1981	3.2	3.2	3.2	2.9	2.5	3.0	3.0	3.6	3.7	3.7	4.0	3.6
1982	3.5	4.1	3.8	3.2	3.3	3.5	2.9	3.1	3.0	3.9	3.8	4.0
1983	4.5	3.8	3.3	2.7	3.0	3.5	3.4	3.4	4.4	4.1	4.6	4.1
1984	3.3	3.3	3.1	2.9	2.7	3.9	2.4	3.6	3.5	3.9	3.6	3.7
1985	3.5	3.4	3.4	3.6	3.2	3.0	3.7	3.2	3.6	3.9	4.0	3.9
1986	4.2	3.7	3.0	3.0	3.1	2.4	3.1	3.2	3.4	3.7	4.0	4.1
1987	3.4	2.2	3.0	3.3	3.3	2.7	2.1	2.9	3.4	3.2	3.5	3.5
1988	3.3	3.4	2.9	2.6	2.7	2.2	2.5	2.4	3.4	3.1	3.4	3.5
1989	3.4	3.4	3.0	2.6	2.2	2.3	2.6	2.8	3.2	3.3	3.7	3.4
1990	3.3	3.6	3.3	2.8	2.7	2.3	2.6	2.9	2.6	3.1	3.0	3.3
1991	3.0	3.3	3.0	2.6	2.2	2.4	2.1	2.6	2.9	3.0	2.9	3.4
1992	3.2	3.1	2.9	2.9	2.5	2.4	2.6	2.5	3.0	3.0	2.7	2.8
1993	2.8	2.8	2.6	2.2	2.0	1.6	1.9	1.8	2.1	2.4	2.5	2.3
1994	2.4	2.5	2.4	4.5	1.8	1.8	2.0	2.2	2.5	2.7	2.5	2.6
1995	2.5	2.4	2.6	1.9	1.8	2.2	2.2	2.5	2.8	2.4	3.7	3.0
1996	3.3	3.2	2.8	2.4	2.2	2.7	2.2	2.8	3.0	2.8	2.8	3.4
1997	3.1	3.0	2.9	2.1	2.2	1.7	1.6	1.9	2.2	2.1	1.7	2.3
1998	2.4	1.8	1.8	1.8	1.9	1.6	1.7	2.0	2.7	2.8	2.4	2.3
1999	2.1	2.3	1.9	2.0	1.4	1.5	1.7	1.7	2.0	2.1	2.1	2.5
2000	2.3	2.1	2.0	1.8	1.6	1.7	1.8	1.8	2.3	2.0	2.0	1.8
2001	2.1	1.9	2.1	2.0	1.9	2.0	1.7	1.8	2.4	2.4	2.3	2.3
2002	2.0	2.4	2.2	1.7	1.6	1.6	2.4	1.7	2.1	2.2	1.9	1.6
2003	1.9	1.5	1.6	1.6	1.5	1.2	1.7	1.7	2.0	1.9	1.8	2.2
2004	1.9	1.8	1.7	1.5	1.8	1.7	1.5	1.6	1.9	2.4	2.2	2.3
2005	1.7	1.9	1.6	1.2	1.4	1.3	1.3	1.8	1.7	1.6	1.9	1.9
2006	1.8	1.9	1.5	1.9	1.4	1.5	1.3	2.0	2.1	2.1	2.2	2.1
2007	1.6	1.8	1.8	1.6	2.0	1.4	2.0	1.6	2.2	1.9	1.9	2.0
2008	1.8	2.0	1.8	2.0	1.5	1.7	1.8	1.6	2.1	2.0	2.1	1.9
2009	1.8	1.6	1.6	1.7	1.5	1.5	2.2	2.0	2.0	2.0	1.7	1.9

FUENTE: SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA-SENAMHI-PUNO

INFORMACION: COMPLEMENTADOS HORAS SOL

ESTACION: CO. 120708
 Periodo : 1981-2009
 Unidad : m/seg.

DEPARTAMENTO: PUNO
 PROVINCIA: PUNO
 DISTRITO: PUNO

LAT: 15°49'39.5"
 LONG: 70°00'43.5"
 ALT. 3820 msnm.

AÑOS	ENER.	FEB.	MAR.	ABRIL.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOT.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
1981	170.4	156.5	219.4	241.7	307.6	293.5	308.6	257.4	259.1	240.3	250.0	209.0
1982	171.5	218.7	212.5	250.4	217.4	288.9	306.3	304.0	248.4	261.3	239.9	298.2
1983	254.8	227.1	277.9	266.6	301.9	266.2	303.2	306.0	259.3	301.4	292.0	263.1
1984	165.2	149.4	184.8	280.1	308.5	276.1	306.5	276.8	299.1	243.6	220.4	240.3
1985	222.0	156.5	192.0	228.6	278.7	264.9	310.5	249.8	209.9	254.8	137.7	133.1
1986	188.2	145.6	183.3	186.9	293.1	300.1	301.8	284.0	266.5	319.2	288.1	220.9
1987	159.6	244.0	254.1	268.3	283.7	271.4	279.9	320.2	303.5	294.4	214.8	278.5
1988	181.9	249.5	174.3	211.3	274.5	297.7	307.1	332.0	284.8	286.6	297.3	216.9
1989	221.5	195.5	184.1	218.0	274.6	252.1	294.8	303.4	284.5	285.1	266.4	278.5
1990	202.4	252.6	258.3	266.8	276.2	239.3	302.1	300.4	298.9	254.2	262.6	239.2
1991	227.9	215.9	216.1	258.8	300.1	275.5	284.0	295.2	241.4	274.5	251.9	238.6
1992	205.7	219.0	288.1	276.8	310.8	257.1	295.9	249.4	292.7	261.0	252.6	229.3
1993	171.6	226.9	223.7	227.4	286.1	283.7	297.8	263.8	264.5	249.0	239.8	228.9
1994	197.5	181.6	233.8	199.0	291.6	280.4	291.1	302.7	289.3	248.6	279.2	236.4
1995	273.6	167.5	229.2	266.4	283.2	287.4	298.5	312.6	246.5	309.5	250.0	231.3
1996	195.8	188.1	239.5	256.6	267.9	269.2	297.5	304.8	295.2	328.4	153.8	138.8
1997	170.4	156.5	219.4	241.7	307.6	293.5	308.6	257.4	259.1	240.3	250.0	209.0
1998	171.5	218.7	212.5	250.4	217.4	288.9	306.3	304.0	248.4	261.3	239.9	298.2
1999	254.8	227.1	277.9	266.6	301.9	266.2	303.2	306.0	259.3	301.4	292.0	263.1
2000	165.2	149.4	184.8	280.1	308.5	276.1	306.5	276.8	299.1	243.6	220.4	240.3
2001	222.0	156.5	192.0	228.6	278.7	264.9	310.5	249.8	209.9	254.8	137.7	133.1
2002	188.2	145.6	183.3	186.9	293.1	300.1	301.8	284.0	266.5	319.2	288.1	220.9
2003	159.6	244.0	254.1	268.3	283.7	271.4	279.9	320.2	303.5	294.4	214.8	278.5
2004	181.9	249.5	174.3	211.3	274.5	297.7	307.1	332.0	284.8	286.6	297.3	216.9
2005	221.5	195.5	184.1	218.0	274.6	252.1	294.8	303.4	284.5	285.1	266.4	278.5
2006	202.4	252.6	258.3	266.8	276.2	239.3	302.1	300.4	298.9	254.2	262.6	239.2
2007	227.9	215.9	216.1	258.8	300.1	275.5	284.0	295.2	241.4	274.5	251.9	238.6
2008	205.7	219.0	288.1	276.8	310.8	257.1	295.9	249.4	292.7	261.0	252.6	229.3
2009	171.6	226.9	223.7	227.4	286.1	283.7	297.8	263.8	264.5	249.0	239.8	228.9

FUENTE: SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA-SENAMHI-PUNO

INFORMACION: COMPLEMENTADOS INSOLACIÓN

DEPARTAMENTO: PUNO
 PROVINCIA: PUNO
 DISTRITO: PUNO

LAT: 15°49'39.5"
 LONG: 70°00'43.5"
 ALT. 3820 msnm.

ESTACION: CO. 120708
 Período : 1981-2009
 Unidad : %

AÑOS	ENER.	FEB.	MAR.	ABRL.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOT.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
1981	43	44	58	69	87	87	89	72	72	62	64	51
1982	42	62	56	71	90	86	88	84	69	68	62	73
1983	63	64	76	76	86	79	87	85	72	78	76	65
1984	41	40	49	80	87	82	88	80	83	63	57	59
1985	55	44	51	65	79	79	89	81	72	82	46	43
1986	47	41	48	62	83	89	87	79	74	83	74	56
1987	40	69	67	89	80	80	81	89	84	77	55	67
1988	45	68	56	60	78	89	88	92	79	74	77	53
1989	55	55	49	62	78	84	85	84	79	74	69	69
1990	50	71	68	76	78	71	87	83	83	66	68	59
1991	57	61	57	74	85	82	82	82	67	72	65	59
1992	51	59	76	79	88	76	85	69	81	68	65	56
1993	42	64	61	64	81	84	86	73	76	65	62	56
1994	49	51	62	66	82	82	84	84	80	80	72	58
1995	68	47	61	72	80	86	86	87	68	81	64	57
1996	49	51	63	73	76	80	86	85	82	86	51	45
1997	43	44	58	69	87	87	89	72	72	62	64	51
1998	42	62	56	71	90	86	88	84	69	68	62	73
1999	63	64	76	76	86	79	87	85	72	78	76	65
2000	41	40	49	80	87	82	88	80	83	63	57	59
2001	55	44	51	65	79	79	89	81	72	82	46	43
2002	47	41	48	62	83	89	87	79	74	83	74	56
2003	40	69	67	89	80	80	81	89	84	77	55	67
2004	45	68	56	60	78	89	88	92	79	74	77	53
2005	55	55	49	62	78	84	85	84	79	74	69	69
2006	50	71	68	76	78	71	87	83	83	66	68	59
2007	57	61	57	74	85	82	82	82	67	72	65	59
2008	51	59	76	79	88	76	85	69	81	68	65	56
2009	42	64	61	64	81	84	86	73	76	65	62	56

FUENTE: SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA-SENAMHI-PUNO

INFORMACION: RADIACION EXTRATERRESTRE

DEPARTAMENTO: PUNO
 PROVINCIA: PUNO
 DISTRITO: PUNO

LAT: 15°49'39.5"
 LONG: 70°00'43.5"
 ALT. 3820 msnm.

ESTACION: CO. 120708
 Periodo : 1981-2009
 Unidad : mm/día

AÑOS	ENER.	FEB.	MAR.	ABRIL.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOT.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
1981	16.9	16.4	15.2	13.5	11.7	10.8	11.2	12.6	14.3	15.2	16.7	16.8
1982	16.9	16.4	15.2	13.5	11.7	10.8	11.2	12.6	14.3	15.2	16.7	16.8
1983	16.9	16.4	15.2	13.5	11.7	10.8	11.2	12.6	14.3	15.2	16.7	16.8
1984	16.9	16.4	15.2	13.5	11.7	10.8	11.2	12.6	14.3	15.2	16.7	16.8
1985	16.9	16.4	15.2	13.5	11.7	10.8	11.2	12.6	14.3	15.2	16.7	16.8
1986	16.9	16.4	15.2	13.5	11.7	10.8	11.2	12.6	14.3	15.2	16.7	16.8
1987	16.9	16.4	15.2	13.5	11.7	10.8	11.2	12.6	14.3	15.2	16.7	16.8
1988	16.9	16.4	15.2	13.5	11.7	10.8	11.2	12.6	14.3	15.2	16.7	16.8
1989	16.9	16.4	15.2	13.5	11.7	10.8	11.2	12.6	14.3	15.2	16.7	16.8
1990	16.9	16.4	15.2	13.5	11.7	10.8	11.2	12.6	14.3	15.2	16.7	16.8
1991	16.9	16.4	15.2	13.5	11.7	10.8	11.2	12.6	14.3	15.2	16.7	16.8
1992	16.9	16.4	15.2	13.5	11.7	10.8	11.2	12.6	14.3	15.2	16.7	16.8
1993	16.9	16.4	15.2	13.5	11.7	10.8	11.2	12.6	14.3	15.2	16.7	16.8
1994	16.9	16.4	15.2	13.5	11.7	10.8	11.2	12.6	14.3	15.2	16.7	16.8
1995	16.9	16.4	15.2	13.5	11.7	10.8	11.2	12.6	14.3	15.2	16.7	16.8
1996	16.9	16.4	15.2	13.5	11.7	10.8	11.2	12.6	14.3	15.2	16.7	16.8
1997	16.9	16.4	15.2	13.5	11.7	10.8	11.2	12.6	14.3	15.2	16.7	16.8
1998	16.9	16.4	15.2	13.5	11.7	10.8	11.2	12.6	14.3	15.2	16.7	16.8
1999	16.9	16.4	15.2	13.5	11.7	10.8	11.2	12.6	14.3	15.2	16.7	16.8
2000	16.9	16.4	15.2	13.5	11.7	10.8	11.2	12.6	14.3	15.2	16.7	16.8
2001	16.9	16.4	15.2	13.5	11.7	10.8	11.2	12.6	14.3	15.2	16.7	16.8
2002	16.9	16.4	15.2	13.5	11.7	10.8	11.2	12.6	14.3	15.2	16.7	16.8
2003	16.9	16.4	15.2	13.5	11.7	10.8	11.2	12.6	14.3	15.2	16.7	16.8
2004	16.9	16.4	15.2	13.5	11.7	10.8	11.2	12.6	14.3	15.2	16.7	16.8
2005	16.9	16.4	15.2	13.5	11.7	10.8	11.2	12.6	14.3	15.2	16.7	16.8
2006	16.9	16.4	15.2	13.5	11.7	10.8	11.2	12.6	14.3	15.2	16.7	16.8
2007	16.9	16.4	15.2	13.5	11.7	10.8	11.2	12.6	14.3	15.2	16.7	16.8
2008	16.9	16.4	15.2	13.5	11.7	10.8	11.2	12.6	14.3	15.2	16.7	16.8
2009	16.9	16.4	15.2	13.5	11.7	10.8	11.2	12.6	14.3	15.2	16.7	16.8

FUENTE: SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA-SENAMHI-PUNO

INFORMACION: RADIACIÓN EXTRATERRESTRE

DEPARTAMENTO: PUNO
 PROVINCIA: PUNO
 DISTRITO: PUNO

LAT: 15°49'39.5"
 LONG: 70°00'43.5"
 ALT. 3820 msnm.

ESTACION: CO. 120708
 Periodo : 1981-2009
 Unidad : mm/día

AÑOS	ENER.	FEB.	MAR.	ABRIL.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOT.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
1981	16.9	16.4	15.2	13.5	11.7	10.8	11.2	12.6	14.3	15.2	16.7	16.8
1982	16.9	16.4	15.2	13.5	11.7	10.8	11.2	12.6	14.3	15.2	16.7	16.8
1983	16.9	16.4	15.2	13.5	11.7	10.8	11.2	12.6	14.3	15.2	16.7	16.8
1984	16.9	16.4	15.2	13.5	11.7	10.8	11.2	12.6	14.3	15.2	16.7	16.8
1985	16.9	16.4	15.2	13.5	11.7	10.8	11.2	12.6	14.3	15.2	16.7	16.8
1986	16.9	16.4	15.2	13.5	11.7	10.8	11.2	12.6	14.3	15.2	16.7	16.8
1987	16.9	16.4	15.2	13.5	11.7	10.8	11.2	12.6	14.3	15.2	16.7	16.8
1988	16.9	16.4	15.2	13.5	11.7	10.8	11.2	12.6	14.3	15.2	16.7	16.8
1989	16.9	16.4	15.2	13.5	11.7	10.8	11.2	12.6	14.3	15.2	16.7	16.8
1990	16.9	16.4	15.2	13.5	11.7	10.8	11.2	12.6	14.3	15.2	16.7	16.8
1991	16.9	16.4	15.2	13.5	11.7	10.8	11.2	12.6	14.3	15.2	16.7	16.8
1992	16.9	16.4	15.2	13.5	11.7	10.8	11.2	12.6	14.3	15.2	16.7	16.8
1993	16.9	16.4	15.2	13.5	11.7	10.8	11.2	12.6	14.3	15.2	16.7	16.8
1994	16.9	16.4	15.2	13.5	11.7	10.8	11.2	12.6	14.3	15.2	16.7	16.8
1995	16.9	16.4	15.2	13.5	11.7	10.8	11.2	12.6	14.3	15.2	16.7	16.8
1996	16.9	16.4	15.2	13.5	11.7	10.8	11.2	12.6	14.3	15.2	16.7	16.8
1997	16.9	16.4	15.2	13.5	11.7	10.8	11.2	12.6	14.3	15.2	16.7	16.8
1998	16.9	16.4	15.2	13.5	11.7	10.8	11.2	12.6	14.3	15.2	16.7	16.8
1999	16.9	16.4	15.2	13.5	11.7	10.8	11.2	12.6	14.3	15.2	16.7	16.8
2000	16.9	16.4	15.2	13.5	11.7	10.8	11.2	12.6	14.3	15.2	16.7	16.8
2001	16.9	16.4	15.2	13.5	11.7	10.8	11.2	12.6	14.3	15.2	16.7	16.8
2002	16.9	16.4	15.2	13.5	11.7	10.8	11.2	12.6	14.3	15.2	16.7	16.8
2003	16.9	16.4	15.2	13.5	11.7	10.8	11.2	12.6	14.3	15.2	16.7	16.8
2004	16.9	16.4	15.2	13.5	11.7	10.8	11.2	12.6	14.3	15.2	16.7	16.8
2005	16.9	16.4	15.2	13.5	11.7	10.8	11.2	12.6	14.3	15.2	16.7	16.8
2006	16.9	16.4	15.2	13.5	11.7	10.8	11.2	12.6	14.3	15.2	16.7	16.8
2007	16.9	16.4	15.2	13.5	11.7	10.8	11.2	12.6	14.3	15.2	16.7	16.8
2008	16.9	16.4	15.2	13.5	11.7	10.8	11.2	12.6	14.3	15.2	16.7	16.8
2009	16.9	16.4	15.2	13.5	11.7	10.8	11.2	12.6	14.3	15.2	16.7	16.8

FUENTE: SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA-SENAMHI-PUNO

INFORMACION: VALORES GENERADOS DE TEMPERATURA MEDIA

DEPARTAMENTO: PUNO
 PROVINCIA: PUNO
 DISTRITO: PUNO

LAT: 15°49'39.5"
 LONG: 70°00'43.5"
 ALT. 3820 msnm.

ESTACION: CO. 120708
 Periodo : 1981-2009
 Unidad : °C

ANOS	ENER.	FEB.	MAR.	ABRL.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOT.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
1981	10.40	9.50	9.40	8.15	6.80	5.05	5.55	6.25	6.95	9.05	10.55	10.70
1982	10.10	10.30	9.95	8.10	6.15	5.25	5.30	6.45	7.50	9.15	10.30	10.70
1983	11.70	11.00	11.45	10.45	8.35	7.10	7.40	7.30	8.50	8.65	9.90	10.30
1984	9.20	9.10	9.60	8.75	7.65	6.70	5.35	6.35	7.20	9.60	9.65	9.95
1985	9.60	9.20	9.70	9.00	7.80	6.25	5.30	7.00	8.05	8.70	11.05	9.05
1986	9.60	9.15	9.20	8.75	6.10	5.55	4.35	6.30	7.35	8.40	9.60	9.95
1987	10.00	9.75	9.35	8.95	8.00	6.15	5.75	7.15	8.80	9.45	10.80	11.35
1988	10.55	10.45	10.00	9.25	7.85	5.60	5.90	7.30	9.05	9.35	10.15	10.15
1989	9.70	9.40	9.30	8.55	7.25	6.45	5.25	7.05	8.70	9.95	9.55	10.75
1990	10.00	9.65	9.55	8.95	8.00	6.45	5.85	6.60	7.80	9.65	9.85	10.45
1991	10.15	10.45	9.95	9.00	7.10	5.40	5.55	6.70	7.85	9.50	9.25	10.15
1992	9.80	9.80	9.80	8.20	8.20	6.45	5.80	6.05	8.45	9.15	9.65	10.50
1993	9.65	9.50	9.50	9.55	8.00	5.90	7.20	7.45	9.00	10.05	10.80	11.60
1994	10.90	10.35	9.70	9.45	7.70	6.10	6.45	7.40	9.10	9.95	10.90	10.85
1995	11.05	10.75	9.95	9.90	8.05	6.50	7.05	8.50	9.55	10.90	11.10	9.90
1996	10.30	10.05	10.20	9.65	8.10	6.45	6.80	7.25	9.40	11.00	9.65	10.45
1997	9.75	9.00	8.90	7.55	7.05	5.95	6.90	6.90	8.85	9.90	10.60	12.15
1998	12.30	12.45	11.65	10.90	8.50	7.80	7.15	8.90	9.85	11.05	11.60	13.20
1999	11.05	10.35	10.35	9.90	8.25	6.70	7.85	8.70	9.65	10.45	11.15	11.95
2000	10.70	10.35	10.30	9.75	9.00	7.35	6.45	8.30	9.90	9.60	10.75	10.20
2001	9.75	10.35	9.90	9.55	8.00	7.50	6.30	7.15	9.55	10.25	11.60	10.85
2002	11.10	10.80	10.80	9.95	8.60	7.55	6.70	7.75	9.25	10.10	11.00	11.20
2003	11.35	11.35	10.65	9.60	8.05	6.30	6.65	7.45	8.25	10.05	11.25	11.80
2004	10.65	10.90	11.20	10.05	7.80	6.40	6.65	7.40	8.95	10.70	11.40	12.00
2005	11.40	10.70	11.05	10.30	8.35	6.40	7.55	7.60	9.50	10.40	10.90	11.80
2006	10.40	11.15	11.15	9.85	7.35	6.95	6.30	8.25	9.20	10.75	11.50	11.70
2007	11.75	11.45	10.40	10.20	9.00	7.90	7.00	8.55	9.30	10.50	10.40	11.15
2008	10.80	10.65	10.30	9.35	7.55	7.45	6.80	7.85	9.00	10.55	11.70	10.90
2009	10.95	11.10	10.45	9.45	6.50	6.50	7.50	7.60	9.95	11.15	12.15	11.95

ELABORADO

FUENTE: SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA-SENAMHI-PUNO

POR TESISTA

$$T_{media} = \frac{T_{max} + T_{min}}{2}$$

INFORMACION: VALORES GENERADOS DE PRESIÓN DE VAPOR DE SATURACIÓN (kPa)

ESTACION: CO. 120708 DEPARTAMENTO: PUNO
 Período : 1981-2009 PROVINCIA: PUNO
 Unidad : KPa ALT. 3820 msnm. DISTRITO: PUNO

LAT: 15°49'39.5"

LONG: 70°00'43.5"

ALT. 3820 msnm.

ANOS	ENER.	FEB.	MAR.	ABRIL.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOT.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
1981	1.2613	1.1874	1.1795	1.0838	0.9882	0.8754	0.9064	0.9514	0.9984	1.1519	1.2740	1.2868
1982	1.2362	1.2529	1.2239	1.0801	0.9449	0.8877	0.8907	0.9646	1.0368	1.1597	1.2529	1.2868
1983	1.3751	1.3127	1.3525	1.2655	1.0986	1.0088	1.0297	1.0227	1.1099	1.1212	1.2198	1.2529
1984	1.1637	1.1558	1.1954	1.1288	1.0475	0.9814	0.8939	0.9580	1.0157	1.1954	1.1995	1.2239
1985	1.1954	1.1637	1.2035	1.1481	1.0582	0.9514	0.8907	1.0019	1.0764	1.1250	1.3171	1.1519
1986	1.1954	1.1597	1.1637	1.1288	0.9416	0.9064	0.8335	0.9547	1.0262	1.1023	1.1954	1.2239
1987	1.2280	1.2075	1.1755	1.1442	1.0728	0.9449	0.9190	1.0122	1.1326	1.1834	1.2954	1.3436
1988	1.2740	1.2655	1.2280	1.1676	1.0619	0.9095	0.9287	1.0227	1.1519	1.1755	1.2529	1.2404
1989	1.2035	1.1795	1.1715	1.1136	1.0192	0.9646	0.8877	1.0053	1.1250	1.2239	1.1914	1.2911
1990	1.2280	1.1995	1.1914	1.1442	1.0728	0.9222	0.9254	0.9747	1.0582	1.1995	1.2157	1.2655
1991	1.2404	1.2655	1.2239	1.1481	1.0088	0.8970	0.9064	0.9814	1.0619	1.1874	1.1676	1.2404
1992	1.2116	1.2116	1.2116	1.1874	1.0875	0.9646	0.9222	0.9384	1.1061	1.1597	1.1995	1.2697
1993	1.1995	1.1874	1.1874	1.1914	1.0728	0.9287	1.0157	1.0332	1.1481	1.2321	1.2954	1.3660
1994	1.3040	1.2571	1.2035	1.1834	1.0510	0.9416	0.9646	1.0297	1.1558	1.2239	1.3040	1.2997
1995	1.3171	1.2911	1.2239	1.2198	1.0764	0.9680	1.0053	1.1099	1.1914	1.3040	1.3215	1.2198
1996	1.2529	1.2321	1.2445	1.1995	1.0801	0.9646	0.9882	1.0192	1.1795	1.3127	1.1995	1.2655
1997	1.2075	1.1481	1.1403	1.0403	1.0053	0.9319	0.9950	0.9950	1.1365	1.2198	1.2782	1.4165
1998	1.4306	1.4447	1.3705	1.3040	1.1099	1.0582	1.0122	1.1403	1.2157	1.3171	1.3660	1.5175
1999	1.3171	1.2571	1.2571	1.2198	1.0912	0.9814	1.0619	1.1250	1.1995	1.2655	1.3259	1.3979
2000	1.2868	1.2571	1.2529	1.2075	1.1481	1.0262	0.9646	1.0949	1.2198	1.1954	1.2911	1.2445
2001	1.2075	1.2571	1.2198	1.1914	1.0728	1.0368	0.9547	1.0122	1.1914	1.2487	1.3660	1.2997
2002	1.3215	1.2954	1.2954	1.2239	1.1174	1.0403	0.9814	1.0546	1.1676	1.2362	1.3127	1.3303
2003	1.3436	1.3436	1.2825	1.1954	1.0764	0.9547	0.9780	1.0332	1.0912	1.2321	1.3347	1.3842
2004	1.2825	1.3040	1.3303	1.2321	1.0582	0.9613	0.9780	1.0297	1.1442	1.2868	1.3480	1.4026
2005	1.3480	1.2868	1.3171	1.2529	1.0986	0.9613	1.0403	1.0439	1.1874	1.2613	1.3040	1.3842
2006	1.2613	1.3259	1.3259	1.2157	1.0262	0.9984	0.9547	1.0912	1.1637	1.2911	1.3570	1.3751
2007	1.3796	1.3525	1.2613	1.2445	1.1481	1.0655	1.0019	1.1136	1.1715	1.2697	1.2613	1.3259
2008	1.2954	1.2825	1.2529	1.1755	1.0403	0.9332	0.9882	1.0619	1.1481	1.2740	1.3751	1.3040
2009	1.3084	1.3215	1.2655	1.1834	0.9680	0.9680	1.0368	1.0439	1.2239	1.3259	1.4165	1.3979

ELABORADO

FUENTE: SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA-SENAMHI-PUNO

POR TESISISTA

$$e_s = 0.611 \exp \left(\frac{17.27T}{237.3 + T} \right)$$

INFORMACION: VALORES GENERADOS DE PRESIÓN REAL DE VAPOR

DEPARTAMENTO: PUNO
 PROVINCIA: PUNO
 DISTRITO: PUNO

LAT: 15°49'39.5"
 LONG: 70°00'43.5"
 ALT. 3820 msnm.

ESTACION: CO. 120708
 Periodo : 1981-2009
 Unidad : KPa

ANOS	ENER.	FEB.	MAR.	ABRIL.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOT.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
1981	0.7694	0.7837	0.6959	0.5527	0.4249	0.2539	0.2810	0.3520	0.3694	0.4608	0.5096	0.6176
1982	0.7665	0.6640	0.6976	0.5400	0.3024	0.2840	0.3207	0.3569	0.4251	0.5335	0.6390	0.5533
1983	0.6463	0.6432	0.6086	0.5948	0.4065	0.3127	0.3295	0.4704	0.4661	0.4709	0.4391	0.6014
1984	0.7447	0.7531	0.7412	0.5531	0.4399	0.3827	0.3128	0.3066	0.2742	0.5977	0.6237	0.5997
1985	0.6216	0.7331	0.6740	0.6314	0.5080	0.3901	0.2761	0.3507	0.4736	0.4275	0.6717	0.6566
1986	0.7053	0.7538	0.7564	0.6999	0.3672	0.2991	0.3001	0.3532	0.4310	0.4079	0.5499	0.6731
1987	0.7859	0.6521	0.6818	0.5835	0.4184	0.3874	0.3860	0.4150	0.4757	0.5680	0.6088	0.6180
1988	0.8408	0.7340	0.7491	0.6539	0.5097	0.3456	0.3715	0.4193	0.4838	0.4937	0.5011	0.6450
1989	0.7101	0.6841	0.6795	0.6014	0.4484	0.3955	0.3462	0.3921	0.4162	0.4895	0.4527	0.4906
1990	0.7245	0.5997	0.5957	0.5835	0.4398	0.4058	0.3054	0.3899	0.3810	0.6117	0.6808	0.6834
1991	0.7070	0.7087	0.7343	0.5970	0.3732	0.3139	0.3263	0.4122	0.4247	0.4750	0.4554	0.5085
1992	0.7027	0.6058	0.5210	0.4750	0.3262	0.3859	0.3320	0.3753	0.3540	0.4523	0.4438	0.5714
1993	0.6837	0.5700	0.6650	0.6434	0.4613	0.3250	0.3860	0.4443	0.2870	0.5914	0.6606	0.7376
1994	0.7302	0.7417	0.7221	0.7101	0.5150	0.3578	0.3473	0.4016	0.4970	0.4528	0.6259	0.6238
1995	0.6981	0.8908	0.6854	0.5123	0.4198	0.3678	0.3820	0.3995	0.5242	0.4825	0.5814	0.5733
1996	0.7016	0.7146	0.6720	0.6477	0.4644	0.2990	0.2866	0.2650	0.3185	0.4594	0.5398	0.6834
1997	0.7849	0.7577	0.6158	0.5722	0.4624	0.3821	0.4378	0.4577	0.5569	0.5611	0.5752	0.7507
1998	0.9442	0.9535	0.7401	0.7172	0.4883	0.4233	0.4251	0.4789	0.5714	0.5927	0.6147	0.8346
1999	0.8561	0.8297	0.6788	0.6709	0.4910	0.3926	0.4460	0.4612	0.5757	0.5695	0.5966	0.7828
2000	0.8364	0.8297	0.6765	0.6641	0.5166	0.4105	0.3955	0.4599	0.5733	0.5379	0.5810	0.6969
2001	0.7970	0.8297	0.7928	0.7625	0.6115	0.5806	0.5442	0.4859	0.6791	0.7242	0.7923	0.8188
2002	0.8457	0.8808	0.7902	0.6486	0.5587	0.4473	0.5692	0.6222	0.7122	0.8035	0.8008	0.8780
2003	0.9539	0.9539	0.9362	0.7531	0.6243	0.5442	0.5770	0.6096	0.6547	0.6530	0.7875	0.8859
2004	1.0132	0.9258	0.8913	0.8255	0.5397	0.5095	0.5477	0.6487	0.6751	0.6691	0.7819	0.8696
2005	0.8897	0.8879	0.8824	0.7893	0.5713	0.4807	0.4994	0.4802	0.5818	0.6937	0.7302	0.8720
2006	0.9712	0.9414	0.9811	0.8145	0.5747	0.5591	0.4869	0.6001	0.6167	0.7101	0.8413	0.8938
2007	0.9519	0.9468	0.9460	0.8712	0.6659	0.5967	0.5210	0.5568	0.7498	0.7364	0.7946	0.8751
2008	1.0104	0.8977	0.8770	0.6935	0.5202	0.4546	0.4743	0.4991	0.5396	0.6879	0.7288	0.8085
2009	0.8504	0.9118	0.8226	0.7219	0.4840	0.4259	0.4562	0.4176	0.5630	0.7027	0.7082	0.8248

ELABORADO

FUENTE: SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA-SENAMHI-PUNO

POR TESISTA

$$e_a = \frac{HR}{100} * e_s(T_{media})$$

INFORMACION: VALORES GENERADOS DE DEFICIT DE PRESION DE VAPOR DE SATURACION (kPa)

ESTACION: CO. 120708 DEPARTAMENTO: PUNO
 LAT: 15°49'39.5" PROVINCIA: PUNO
 Período : 1981-2009 DISTRITO: PUNO
 ALT. 3820 msnm.

ANOS	ENER.	FEB.	MAR.	ABRIL.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOT.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
1981	0.4919	0.4037	0.4836	0.5311	0.5633	0.6215	0.6254	0.5994	0.6290	0.6912	0.7644	0.6691
1982	0.4698	0.5888	0.5263	0.5400	0.6425	0.6036	0.5701	0.6077	0.6117	0.6263	0.6139	0.7335
1983	0.7288	0.6695	0.7439	0.6707	0.6921	0.6960	0.7002	0.5522	0.6437	0.6503	0.7806	0.6515
1984	0.4189	0.4045	0.4543	0.5757	0.6075	0.5987	0.5810	0.6514	0.7415	0.5977	0.5757	0.6242
1985	0.5738	0.4306	0.5295	0.5166	0.5503	0.5613	0.6146	0.6512	0.6028	0.6975	0.6454	0.4953
1986	0.4901	0.4059	0.4073	0.4289	0.5744	0.6073	0.5334	0.6015	0.5952	0.6945	0.6455	0.5507
1987	0.4421	0.5555	0.4937	0.5607	0.6544	0.5575	0.5330	0.5972	0.6569	0.6154	0.6865	0.7255
1988	0.4331	0.5315	0.4789	0.5137	0.5522	0.5639	0.5572	0.6034	0.6681	0.6818	0.7517	0.5954
1989	0.4934	0.4954	0.4920	0.5123	0.5707	0.5691	0.5415	0.6132	0.7087	0.7343	0.7387	0.8005
1990	0.5035	0.5997	0.5957	0.5607	0.6329	0.5165	0.6200	0.5848	0.6773	0.5877	0.5349	0.5821
1991	0.5334	0.5568	0.4895	0.5511	0.6355	0.5830	0.5801	0.5692	0.6371	0.7125	0.7122	0.7318
1992	0.5089	0.6058	0.6906	0.7125	0.7612	0.5788	0.5902	0.5630	0.7521	0.7074	0.7557	0.6983
1993	0.5158	0.6175	0.5225	0.5481	0.6115	0.6036	0.6297	0.5889	0.8610	0.6407	0.6347	0.6284
1994	0.5738	0.5154	0.4814	0.4734	0.5360	0.5838	0.6174	0.6281	0.6588	0.7710	0.6781	0.6758
1995	0.6190	0.4002	0.5385	0.7075	0.6566	0.6001	0.6233	0.7103	0.6672	0.8215	0.7400	0.6465
1996	0.4226	0.5175	0.5725	0.5518	0.6157	0.6656	0.7016	0.7542	0.8610	0.8533	0.6597	0.5821
1997	0.4864	0.3903	0.5246	0.4681	0.5429	0.5498	0.5572	0.5373	0.5796	0.6587	0.7030	0.6658
1998	0.4610	0.4912	0.6304	0.5868	0.6215	0.6349	0.5871	0.6614	0.6443	0.7244	0.7513	0.6829
1999	0.4504	0.4274	0.5782	0.5489	0.6001	0.5888	0.6159	0.6637	0.6237	0.6960	0.7292	0.6151
2000	0.4106	0.4274	0.5763	0.5434	0.6314	0.6157	0.5691	0.6350	0.6465	0.6575	0.7101	0.5476
2001	0.4757	0.4145	0.4269	0.4289	0.4613	0.4562	0.4105	0.5264	0.5123	0.5244	0.5737	0.4809
2002	0.3896	0.3782	0.5052	0.5752	0.5587	0.5930	0.4122	0.4324	0.4554	0.4327	0.5120	0.4523
2003	0.2693	0.3896	0.3463	0.4423	0.4521	0.4105	0.4010	0.4236	0.4365	0.5791	0.5472	0.4983
2004	0.4583	0.3989	0.4390	0.4066	0.5185	0.4518	0.4303	0.3810	0.4691	0.6176	0.5662	0.5330
2005	0.2901	0.3845	0.4346	0.4636	0.5273	0.4807	0.5410	0.5637	0.6056	0.5676	0.5738	0.5121
2006	0.4277	0.4058	0.3153	0.3734	0.4515	0.4393	0.4678	0.4910	0.5469	0.5810	0.5157	0.4813
2007	0.2850	0.3847	0.3759	0.4820	0.4822	0.4688	0.4809	0.5568	0.4218	0.5333	0.4667	0.4508
2008	0.4579	0.4097	0.4429	0.4615	0.5202	0.5786	0.5139	0.5628	0.6085	0.5860	0.6463	0.4955
2009					0.4840	0.5421	0.5806	0.6263	0.6609	0.6232	0.7082	0.5732

ELABORADO

FUENTE: SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA-SENAMHI-PUNO

POR TESISTA

$$Def = e_s - e_a$$

INFORMACION: VALORES GENERADOS DE COEFICIENTE DEL TANQUE CLASE A PARA CASO A (K_p) BORDE =50m

ESTACION: CO. 120708

LAT: 15°49'39.5"

DEPARTAMENTO: PUNO

Periodo : 1981-2009

LONG: 70°00'43.5"

PROVINCIA: PUNO

Unidad : Sin unidad

ALT. 3820 msnm.

DISTRITO: PUNO

ANOS	ENER.	FEB.	MAR.	ABRIL.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOT.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
1981	0.7314	0.7419	0.7269	0.7160	0.7046	0.6291	0.6466	0.6531	0.6502	0.6606	0.6521	0.6879
1982	0.7250	0.6868	0.7051	0.7048	0.6422	0.6365	0.6694	0.6674	0.6840	0.6736	0.6903	0.6617
1983	0.6593	0.6849	0.6878	0.7108	0.6702	0.6323	0.6394	0.6879	0.6471	0.6557	0.6208	0.6650
1984	0.7349	0.7370	0.7364	0.7107	0.6958	0.6515	0.6800	0.6336	0.6138	0.6848	0.6986	0.6878
1985	0.7014	0.7300	0.7142	0.7061	0.6993	0.6840	0.6265	0.6571	0.6762	0.6480	0.6845	0.7223
1986	0.6983	0.7256	0.7456	0.7393	0.6744	0.6721	0.6637	0.6645	0.6757	0.6502	0.6707	0.6918
1987	0.7321	0.7437	0.7303	0.7046	0.6687	0.6925	0.6843	0.6868	0.6757	0.6993	0.6879	0.6850
1988	0.7390	0.7189	0.7399	0.7371	0.7136	0.6967	0.6950	0.7011	0.6757	0.6843	0.6692	0.7014
1989	0.7212	0.7189	0.7303	0.7322	0.7163	0.7040	0.6887	0.6830	0.6645	0.6721	0.6538	0.6623
1990	0.7241	0.6933	0.7019	0.7189	0.6925	0.7134	0.6664	0.6835	0.6780	0.7103	0.7257	0.7122
1991	0.7280	0.7171	0.7349	0.7272	0.6931	0.6885	0.6780	0.6900	0.6807	0.6835	0.6658	0.6782
1992	0.7246	0.7076	0.6932	0.6835	0.6565	0.6978	0.6780	0.6950	0.6508	0.6773	0.6788	0.7021
1993	0.7337	0.7108	0.7371	0.7437	0.7189	0.7028	0.7052	0.7246	0.6435	0.7222	0.7274	0.7408
1994	0.7428	0.7469	0.7520	0.6920	0.7421	0.7081	0.6952	0.6944	0.7046	0.6874	0.7193	0.7165
1995	0.7326	0.7707	0.7371	0.7186	0.7116	0.6967	0.6967	0.6809	0.6991	0.6788	0.6734	0.7022
1996	0.7171	0.7246	0.7265	0.7379	0.7132	0.6551	0.6605	0.6288	0.6281	0.6685	0.7021	0.7093
1997	0.7427	0.7476	0.7236	0.7490	0.7222	0.7211	0.7334	0.7308	0.7307	0.7251	0.7336	0.7383
1998	0.7648	0.7819	0.7551	0.7576	0.7249	0.7207	0.7244	0.7158	0.7108	0.7021	0.7136	0.7433
1999	0.7713	0.7676	0.7522	0.7518	0.7422	0.7236	0.7244	0.7211	0.7336	0.7221	0.7221	0.7400
2000	0.7656	0.7734	0.7494	0.7576	0.7364	0.7178	0.7183	0.7215	0.7222	0.7250	0.7250	0.7600
2001	0.7734	0.7791	0.7713	0.7721	0.7595	0.7543	0.7652	0.7394	0.7452	0.7475	0.7504	0.7614
2002	0.7721	0.7688	0.7600	0.7555	0.7505	0.7304	0.7475	0.7698	0.7628	0.7685	0.7685	0.7877
2003	0.7889	0.8076	0.8011	0.7814	0.7732	0.7795	0.7698	0.7698	0.7635	0.7497	0.7670	0.7664
2004	0.8031	0.7917	0.7868	0.7925	0.7475	0.7555	0.7686	0.7814	0.7641	0.7329	0.7532	0.7593
2005	0.7848	0.7850	0.7897	0.7929	0.7615	0.7591	0.7537	0.7337	0.7450	0.7633	0.7571	0.7729
2006	0.8026	0.7889	0.8058	0.7811	0.7714	0.7686	0.7618	0.7518	0.7440	0.7490	0.7621	0.7713
2007	0.7936	0.7898	0.7990	0.7955	0.7714	0.7714	0.7443	0.7505	0.7664	0.7618	0.7729	0.7762
2008	0.8043	0.7841	0.7898	0.7612	0.7534	0.7306	0.7394	0.7423	0.7280	0.7494	0.7440	0.7707
2009	0.7799	0.7936	0.7856	0.7743	0.7534	0.7363	0.7163	0.7093	0.7279	0.7469	0.7477	0.7641

FUENTE: SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA-SENAMHI-PUNO

POR TESISTA

ELABORADO

$$K_p = 0.108 - 0.0286u_2 + 0.0422Ln(BORDE) + 0.1434Ln(HR_{media}) - 0.000631[Ln(BORDURA)]^2 Ln(HR_{media})$$

INFORMACION: VALORES GENERADOS DE EVAPORACION DE TANQUE CLASE A (mm/mes)

DEPARTAMENTO: PUNO

LAT: 15°49'39.5"

ESTACION: CO. 120708

PROVINCIA: PUNO

LONG: 70°00'43.5"

Periodo : 1981-2009

DISTRITO: PUNO

ALT. 3820 msnm.

Unidad : mm/mes

ANOS	ENER.	FEB.	MAR.	ABRIL.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOT.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
1981	165.8	135.9	158.2	141.6	142.6	127.7	157.7	162	183.3	203.2	230.1	186.8
1982	167.2	175.1	161.1	151.6	134.1	134.1	135	178.7	175.6	209.5	202	239.9
1983	232.9	186.9	204.9	177.3	163.9	159.9	175.5	182.5	213.2	235.4	263	217.4
1984	175.6	136.5	153.1	157.8	145.2	121.8	139	170	205.5	209	190.9	199.5
1985	181.6	139.2	167.3	142.1	140	117.9	142.1	166.4	178.6	225.8	165.1	157
1986	151.6	122.7	143.2	143.3	136.5	121.8	130	166.1	180.3	222.6	223.2	184.2
1987	146.8	171.3	166.3	162	159	125.5	127.3	179.9	208.1	222.4	199.2	232.8
1988	173.9	184	160.8	141.1	124.3	124.6	142.3	185.5	196.2	226.7	222.5	190.7
1989	107.5	152.2	157.9	146	130	117.4	128.9	159	201.9	223.4	207.3	234.9
1990	180	187.9	186.6	154.9	144.6	104	143.8	155.2	159.7	170	192.7	188.9
1991	188.3	165.8	166.8	142.9	133.1	116.7	126.7	151	146.2	203.2	198.5	194.8
1992	159	173.5	196.3	200.6	175.1	143.9	171.5	162	207.8	187	197.1	218.9
1993	152	154	142	138.1	146.5	140.1	158.7	150.3	169.7	169.4	179.4	170.2
1994	179	159	165	152.2	165.2	149.9	141.8	154.6	162	165.2	152.4	149.5
1995	156.6	148.6	145.6	170	160.6	145.4	155.2	168	155.4	191.1	170	160.7
1996	157.1	154.4	172.5	158.7	150.8	121.7	125.2	154.1	163.8	191.9	153.8	138.8
1997	138.5	134.1	164.7	144	139.3	113.2	113.7	117.8	143.3	164.3	154.4	171.7
1998	132.4	112.3	123.7	119.3	117	96.7	105.1	120.5	140	136.9	131.9	145.9
1999	128.5	125.8	117.7	129.8	112.3	106.1	104.2	118.5	127	129.1	143.4	150.3
2000	116.2	102.5	120.3	114	104.9	105.1	110.1	121	147.7	141.8	166.8	133.9
2001	122	123.2	127.4	114.4	95.4	88	92	105.8	135.2	162.4	166	149.5
2002	149.2	113.8	122.5	101.9	92.2	78.6	78.2	89.5	101.9	115.2	120.4	121.4
2003	109.2	113.3	123.9	92.5	86.5	61.1	84.4	91.2	108.7	140.3	164.5	150.2
2004	121.3	122	136	113.5	120.5	83.1	75.4	86.8	108.6	147.8	148	147
2005	132.4	103	120.5	110.9	101.3	87.9	101.7	96.6	118.1	119.5	118.8	121.3
2006	97.3	94.8	108.0	104.3	91.4	82.8	81.8	106.8	113.5	127.8	128.3	127.1
2007	134.4	116.5	95.6	93.6	86.1	86.9	68.7	94.7	94.6	134.6	116.8	126.9
2008	100.8	113.5	104.7	109.9	100.0	111.3	95.7	104.6	120.2	131.7	143.1	121.7
2009	118.3	99.5	110.2	92.0	96.2	80.4	103.1	104.1	125.3	120.1	121.4	121.7

ELABORADO

FUENTE: SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA-SENAMHI-PUNO

POR TESISISTA

INFORMACION: VALORES GENERADOS DE EVAPORACION DE TANQUE EVAPORÍMETRO CLASE A (E_{pan})

DEPARTAMENTO: PUNO

PROVINCIA: PUNO

DISTRITO: PUNO

LAT: 15°49'39.5"

LONG: 70°00'43.5"

ALT: 3820 msnm.

ESTACION: CO. 120708

Periodo : 1981-2009

Unidad : mm/día

ANOS	ENER.	FEB.	MAR.	ABRIL.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOT.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
1981	5.34839	4.85357	5.10323	4.72000	4.60000	4.25667	5.08710	5.22581	6.11000	6.55484	7.67000	6.02581
1982	5.39355	6.25357	5.19677	5.05333	4.32581	4.47000	4.35484	5.76452	5.85333	6.75806	6.73333	7.73871
1983	7.51290	6.67500	6.60968	5.91000	5.28710	5.33000	5.66129	5.88710	7.10667	7.59355	8.76667	7.01290
1984	5.66452	4.87500	4.93871	5.26000	4.68387	4.06000	4.48387	5.48387	6.85000	6.74194	6.36333	6.43548
1985	5.85806	4.97143	5.39677	4.73667	4.51613	3.93000	4.58387	5.36774	5.95333	7.28387	5.50333	5.06452
1986	4.89032	4.38214	4.61935	4.77667	4.40323	4.06000	4.19355	5.35806	6.01000	7.18065	7.44000	5.94194
1987	4.73548	6.11786	5.36452	5.40000	5.12903	4.18333	4.10645	5.80323	6.93667	7.17419	6.64000	7.50968
1988	5.60968	6.57143	5.18710	4.70333	4.00968	4.15333	4.59032	5.98387	6.54000	7.31290	7.41667	6.15161
1989	3.46774	5.43571	5.09355	4.86667	4.19355	3.91333	4.15806	5.12903	6.73000	7.20645	6.91000	7.57742
1990	5.80645	6.71071	6.01935	5.16333	4.66452	3.46667	4.63871	5.00645	5.32333	5.48387	6.42333	6.09355
1991	6.07419	5.92143	5.38065	4.76333	4.29355	3.89000	4.08710	4.87097	4.87333	6.55484	6.61667	6.28387
1992	5.12903	6.19643	6.33226	6.68667	5.64839	4.79667	5.53226	5.22581	6.92667	6.03226	6.57000	7.06129
1993	4.90323	5.50000	4.58065	4.60333	4.72581	4.67000	5.11935	4.84839	5.65667	5.46452	5.98000	5.49032
1994	5.77419	5.67857	5.32258	5.07333	5.32903	4.99667	4.57419	4.98710	5.40000	5.32903	5.08000	4.82258
1995	5.05161	5.30714	4.69677	5.66667	5.18065	4.84667	5.00645	5.41935	5.18000	6.16452	5.66667	5.18387
1996	5.06774	5.51429	5.56452	5.29000	4.86452	4.05667	4.03871	4.97097	5.46000	6.19032	5.12667	4.47742
1997	4.46774	4.78929	5.31290	4.80000	4.49355	3.77333	3.66774	3.80000	4.77667	5.30000	5.14667	5.53871
1998	4.27097	4.01071	3.99032	3.97667	3.77419	3.22333	3.39032	3.88710	4.66667	4.41613	4.39667	4.70645
1999	4.14516	4.49286	3.79677	4.32667	3.62258	3.53667	3.36129	3.82258	4.23333	4.16452	4.78000	4.84839
2000	3.74839	3.66071	3.88065	3.80000	3.38387	3.50333	3.55161	3.90323	4.92333	4.57419	5.56000	4.31935
2001	3.93548	4.40000	4.10968	3.81333	3.07742	2.93333	2.96774	3.41290	4.50667	5.23871	5.53333	4.82258
2002	4.81290	4.06429	3.95161	3.39667	2.97419	2.62000	2.52258	2.88710	3.39667	3.71613	4.01333	3.91613
2003	3.52258	4.04643	3.99677	3.08333	2.79032	2.03667	2.72258	2.94194	3.62333	4.52581	5.48333	4.84516
2004	3.91290	4.35714	4.38710	3.78333	3.88710	2.77000	2.43226	2.80000	3.62000	4.76774	4.93333	4.74194
2005	4.27097	3.67857	3.88710	3.69667	3.26774	2.93000	3.28065	3.11613	3.93667	3.85484	3.96000	3.91290
2006	3.13871	3.38571	3.48387	3.47667	2.94839	2.76000	2.63871	3.44516	3.78333	4.12258	4.27667	4.10000
2007	4.33548	4.16071	3.08387	3.12000	2.77742	2.89667	2.21613	3.05484	3.15333	4.34194	3.89333	4.09355
2008	3.25161	4.05357	3.37742	3.66333	3.22581	3.71000	3.08710	3.37419	4.00667	4.24839	4.77000	3.92581
2009	3.81613	3.55357	3.55484	3.06667	3.10323	2.68000	3.32581	3.35806	4.17667	3.87419	4.04667	3.92581
DM	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31

ELABORADO

FUENTE: SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA-SENAMHI-PUNO

POR TESIS TA

INFORMACION: VALORES GENERADOS DE EVAPOTRANSPIRACION DE REFERENCIA ETo (mm/día)

ESTACION: CO. 120708 DEPARTAMENTO: PUNO
 Periodo : 1981-2009 PROVINCIA: PUNO
 Unidad : mm/día DISTRITO: PUNO
 LAT: 15°49'39.5" ALT: 3820 msnm.
 LONG: 70°00'43.5"

AÑOS	ENER.	FEB.	MAR.	ABRIL.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOT.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
1981	3.911644	3.600890	3.709588	3.379531	3.241263	2.677700	3.289113	3.412782	3.972741	4.330323	5.001224	4.144997
1982	3.910126	4.295122	3.664443	3.561458	2.778146	2.845182	2.915211	3.847026	4.003402	4.552247	4.647767	5.120878
1983	4.953396	4.571787	4.546286	4.200819	3.543535	3.369945	3.619637	4.049747	4.598975	4.979206	5.442336	4.663540
1984	4.163022	3.592891	3.636884	3.738029	3.258828	2.645187	3.048813	3.474833	4.204415	4.616567	4.445294	4.426145
1985	4.109078	3.628962	3.854435	3.344470	3.158193	2.687933	2.871978	3.526988	4.025865	4.720312	3.767265	3.658090
1986	3.414963	3.179522	3.444114	3.531216	2.969553	2.728651	2.783253	3.560451	4.061169	4.668878	4.990322	4.110518
1987	3.466705	4.549648	3.917943	3.804637	3.429701	2.897094	2.810108	3.985728	4.687351	5.017016	4.567779	5.144446
1988	4.145806	4.724227	3.838187	3.466784	2.861363	2.893502	3.190045	4.195367	4.419309	5.004332	4.963308	4.314984
1989	2.500902	3.907757	3.720043	3.563505	3.003743	2.754879	2.863675	3.503047	4.472106	4.843240	4.517550	5.018903
1990	4.204163	4.652766	4.225069	3.711726	3.230329	2.473179	3.091058	3.421960	3.609213	3.895097	4.661098	4.339868
1991	4.422123	4.246084	3.954119	3.463798	2.975872	2.678386	2.771046	3.361140	3.317034	4.480298	4.405535	4.261925
1992	3.716620	4.384803	4.389410	4.570404	3.708022	3.347162	3.750864	3.631674	4.507917	4.085431	4.459737	4.957892
1993	3.597683	3.909149	3.376352	3.423347	3.397488	3.282221	3.610424	3.513347	3.640236	3.946442	4.350106	4.067269
1994	4.289134	4.241497	4.002784	3.510636	3.954739	3.538189	3.179791	3.463159	3.804961	3.663087	3.654218	3.455255
1995	3.700746	4.090376	3.461949	4.072267	3.686464	3.765527	3.487844	3.689815	3.621427	4.184493	3.815804	3.640210
1996	3.633930	3.995784	4.042660	3.903739	3.469385	2.657684	2.667650	3.125524	3.429334	4.138299	3.599549	3.176044
1997	3.318296	3.580591	3.844666	3.595109	3.245340	2.721073	2.690058	2.777048	3.490176	3.842936	3.775506	4.089268
1998	3.266373	3.136159	3.013120	3.012568	2.735751	2.323024	2.455798	2.782288	3.317060	3.100664	3.137297	3.498122
1999	3.197260	3.448921	2.856112	3.252966	2.688544	2.558955	2.434769	2.756587	3.105718	3.007375	3.451842	3.587568
2000	2.869778	2.831069	2.908105	2.878732	2.492027	2.514798	2.551026	2.816159	3.55821	3.316303	4.031015	3.282584
2001	3.043567	3.427975	3.169890	2.944312	2.337233	2.212469	2.270910	2.523345	3.358269	3.915957	4.152015	3.672027
2002	3.716090	3.124533	3.003103	2.566070	2.232233	1.913549	1.885639	2.222517	2.591075	2.855709	3.084443	3.084599
2003	2.778795	3.267985	3.202005	2.409451	2.157600	1.587578	2.095871	2.264732	2.766336	3.393210	4.205445	3.713282
2004	3.142575	3.449602	3.451840	2.998430	2.905459	2.092644	1.869314	2.188042	2.766007	3.494275	3.715906	3.600474
2005	3.351878	2.887790	3.069549	2.931026	2.488384	2.224204	2.472472	2.286186	2.932706	2.942325	2.998159	3.024140
2006	2.519009	2.670827	2.807397	2.715612	2.274418	2.121200	2.010070	2.590214	2.814902	3.087735	3.259434	3.162426
2007	3.440685	3.286194	2.464143	2.482069	2.107906	2.234520	1.649552	2.292760	2.416683	3.307704	3.009015	3.177516
2008	2.615232	3.178384	2.667536	2.788641	2.430303	2.710441	2.282458	2.504524	2.916687	3.183686	3.549009	3.025712
2009	2.976212	2.820151	2.792764	2.374425	2.337952	1.973276	2.382199	2.381707	3.040372	2.893585	3.025587	2.999671

ELABORADO

FUENTE: SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA-SENAMHI-PUNO

POR TESISISTA

$$E_{T0} = K_p E_{pan}$$

INFORMACION: VALORES GENERADOS DE EVAPOTRANSPIRACION DE REFERENCIA ETo (mm/día) K 0.75

DEPARTAMENTO: PUNO
 PROVINCIA: PUNO
 DISTRITO: PUNO

LAT: 15°49'39.5"
 LONG: 70°00'43.5"
 ALT. 3820 msnm.

ESTACION: CO. 120708
 Período : 1981-2009
 Unidad : mm/día

ANOS	ENER.	FEB.	MAR.	ABRIL.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOT.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
1981	4.0113	3.6402	3.8274	3.5400	3.4500	3.1925	3.8153	3.9194	4.5825	4.9161	5.7525	4.5194
1982	4.0452	4.6902	3.8976	3.7900	3.2444	3.3525	3.2661	4.3234	4.3900	5.0685	5.0500	5.8040
1983	5.6347	5.0063	4.9573	4.4325	3.9653	3.9975	4.2460	4.4153	5.3300	5.6952	6.5750	5.2597
1984	4.2484	3.6563	3.7040	3.9450	3.5129	3.0450	3.3629	4.1129	5.1375	5.0565	4.7725	4.8266
1985	4.3935	3.7286	4.0476	3.5525	3.3871	2.9475	3.4379	4.0258	4.4650	5.4629	4.1275	3.7984
1986	3.6677	3.2866	3.4645	3.5825	3.3024	3.0450	3.1452	4.0185	4.5075	5.3855	5.5800	4.4565
1987	3.5516	4.5884	4.0234	4.0500	3.8468	3.1375	3.0798	4.3524	5.2025	5.4847	4.9800	5.6323
1988	4.2073	4.9286	3.8903	3.5275	3.0073	3.1150	3.4427	4.4879	4.9050	5.4847	5.5625	4.6137
1989	2.6008	4.0768	3.8202	3.6500	3.1452	2.9350	3.1185	3.8468	5.0475	5.4048	5.1825	5.6831
1990	4.3548	5.0330	4.5145	3.8725	3.4984	2.6000	3.4790	3.7548	3.9925	4.1129	4.8175	4.5702
1991	4.5556	4.4411	4.0355	3.5725	3.2202	2.9175	3.0653	3.6532	3.6550	4.9161	4.9625	4.7129
1992	3.8468	4.6473	4.7492	5.0150	4.2363	3.5975	4.1492	3.9194	5.1950	4.5242	4.9275	5.2960
1993	3.6774	4.1250	3.4355	3.4525	3.5444	3.5025	3.8395	3.6363	4.2425	4.0984	4.4850	4.1177
1994	4.3306	4.2589	3.9919	3.8050	3.9968	3.7475	3.4306	3.7403	4.0500	3.9968	3.8100	3.6169
1995	3.7887	3.9804	3.5226	4.2500	3.8855	3.6350	3.7548	4.0645	3.8850	4.6234	4.2500	3.8879
1996	3.8008	4.1357	4.1734	3.9675	3.6484	3.0425	3.0290	3.7282	4.0950	4.6427	3.8450	3.3581
1997	3.3508	3.5920	3.9847	3.6000	3.3702	2.8300	2.7508	2.8500	3.5825	3.9750	3.8600	4.1540
1998	3.2032	3.0080	2.9927	2.9825	2.8306	2.4175	2.5427	2.9153	3.5000	3.3121	3.2975	3.5298
1999	3.1089	3.3696	2.8476	3.2450	2.7169	2.6525	2.5210	2.8669	3.1750	3.1234	3.5850	3.6363
2000	2.8113	2.7455	2.9105	2.8500	2.5379	2.6275	2.6637	2.9274	3.6925	3.4306	4.1700	3.2395
2001	2.9516	3.3000	3.0823	2.8600	2.3081	2.2000	2.2258	2.5597	3.3800	3.9290	4.1500	3.6169
2002	3.6097	3.0482	2.9637	2.5475	2.2306	1.9650	1.8919	2.1653	2.5475	2.7871	3.0100	2.9371
2003	2.6419	3.0348	2.9976	2.3125	2.0927	1.5275	2.0419	2.2065	2.7175	3.3944	4.1125	3.6339
2004	2.9347	3.2679	3.2903	2.8375	2.9153	2.0775	1.8242	2.1000	2.7150	3.5758	3.7000	3.5565
2005	3.2032	2.7589	2.9153	2.7725	2.4508	2.1975	2.4605	2.3371	2.9525	2.8911	2.9700	2.9347
2006	2.3540	2.5393	2.6129	2.6075	2.2113	2.0700	1.9790	2.5839	2.8375	3.0919	3.2075	3.0750
2007	3.2516	3.1205	2.3129	2.3400	2.0831	2.1725	1.6621	2.2911	2.3650	3.2565	2.9200	3.0702
2008	2.4387	3.0402	2.5331	2.7475	2.4194	2.7825	2.3153	2.5306	3.0050	3.4863	3.5775	2.9444
2009	2.8621	2.6652	2.6661	2.3000	2.3274	2.0100	2.4944	2.5185	3.1325	2.9056	3.0350	2.9444

ELABORADO

FUENTE: SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA-SENAMHI-PUNO
 POR TESISTA

$$E_{T0} = 0.75 * E_{pan}$$

INFORMACION: VALORES GENERADOS DE EVAPOTRANSPIRACION DE REFERENCIA ETo (mm/mes) K= 0.75

DEPARTAMENTO: PUNO
 PROVINCIA: PUNO
 DISTRITO: PUNO

LAT: 15°49'39.5"
 LONG: 70°00'43.5"
 ALT. 3820 msnm.

ESTACION: CO. 120708
 Periodo : 1981-2009
 Unidad : mm/mes

ANOS	ENER.	FEB.	MAR.	ABRIL.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOT.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
1981	124.35	101.93	118.65	106.20	106.95	95.78	118.28	121.50	137.48	152.40	172.58	140.10
1982	125.40	131.33	120.83	113.70	100.58	100.58	101.25	134.03	131.70	157.13	151.50	179.93
1983	174.68	140.18	153.68	132.98	122.93	119.93	131.63	136.88	159.90	176.55	197.25	163.05
1984	131.70	102.38	114.83	118.35	108.90	91.35	104.25	127.50	154.13	156.75	143.18	149.63
1985	136.20	104.40	125.48	106.58	105.00	88.43	106.58	124.80	133.95	169.35	123.83	117.75
1986	113.70	128.03	107.40	107.48	102.38	91.35	97.50	124.58	135.23	166.95	167.40	138.15
1987	110.10	128.48	124.73	121.50	119.25	94.13	95.48	134.93	156.08	166.80	149.40	174.60
1988	130.43	138.00	120.60	105.83	93.23	93.45	106.73	139.13	147.15	170.03	166.88	143.03
1989	80.63	114.15	118.43	109.50	97.50	88.05	96.68	119.25	151.43	167.55	155.48	176.18
1990	135.00	140.93	139.95	116.18	108.45	78.00	107.85	116.40	119.78	127.50	144.53	141.68
1991	141.23	124.35	125.10	107.18	99.83	87.53	95.03	113.25	109.65	152.40	148.88	146.10
1992	119.25	130.13	147.23	150.45	131.33	107.93	128.63	121.50	155.85	140.25	147.83	164.18
1993	114.00	115.50	106.50	103.58	109.88	105.08	119.03	112.73	127.28	127.05	134.55	127.65
1994	134.25	119.25	123.75	114.15	123.90	112.43	106.35	115.95	121.50	123.90	114.30	112.13
1995	117.45	111.45	109.20	127.50	120.45	109.05	116.40	126.00	116.55	143.33	127.50	120.53
1996	117.83	115.80	129.38	119.03	113.10	91.28	93.90	115.58	122.85	143.93	115.35	104.10
1997	103.88	100.58	123.53	108.00	104.48	84.90	85.28	88.35	107.48	123.23	115.80	128.78
1998	99.30	84.23	92.78	89.48	87.75	72.53	78.83	90.38	105.00	102.68	98.93	109.43
1999	96.38	94.35	88.28	97.35	84.23	79.58	78.15	88.88	95.25	96.83	107.55	112.73
2000	87.15	76.88	90.23	85.50	78.68	78.83	82.58	90.75	110.78	106.35	125.10	100.43
2001	91.50	92.40	95.55	85.80	71.55	66.00	69.00	79.35	101.40	121.80	124.50	112.13
2002	111.90	85.35	91.88	76.43	69.15	58.95	58.65	67.13	76.43	86.40	90.30	91.05
2003	81.90	84.98	92.93	69.38	64.88	45.83	63.30	68.40	81.53	105.23	123.38	112.65
2004	90.98	91.50	102.00	85.13	90.38	62.33	56.55	65.10	81.45	110.85	111.00	110.25
2005	99.30	77.25	90.38	83.18	75.98	65.93	76.28	72.45	88.58	89.63	89.10	90.98
2006	72.98	71.10	81.00	78.23	68.55	62.10	61.35	80.10	85.13	95.85	96.23	95.33
2007	100.80	87.38	71.70	70.20	64.58	65.18	51.53	71.03	70.95	100.95	87.60	95.18
2008	75.60	85.13	78.53	82.43	75.00	83.48	71.78	78.45	90.15	98.78	107.33	91.28
2009	88.73	74.63	82.65	69.00	72.15	60.30	77.33	78.08	93.98	90.08	91.05	91.28

ELABORADO

FUENTE: SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA-SENAMHI-PUNO

POR TESISTA

VALORES CALCULADOS DE RANGO DE TEMPERATURA

ANOS	ENER.	FEB.	MAR.	ABRL.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOT.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
1981	8.8	8.8	9.4	11.1	13.2	15.5	14.9	12.7	12.5	11.3	10.5	9.6
1982	9.4	9.8	9.1	10.8	14.7	14.3	14.4	14.1	11.8	10.9	10.4	11.8
1983	11.2	10.4	11.7	11.3	14.5	15.4	16.2	13.8	13.6	12.9	14.4	11
1984	9	8.8	8.6	11.3	12.7	13	13.9	13.9	14.2	10	9.9	10.1
1985	8.8	8	8.8	9.2	11.2	11.7	14	13.6	11.7	12.8	4.5	8.7
1986	9.2	8.5	8.4	9.3	13	13.5	13.5	12.4	11.5	12.6	11.8	9.3
1987	8.4	10.7	10.7	11.7	13.6	13.9	13.9	14.3	13.8	12.7	10.4	11.9
1988	9.1	10.9	9	10.1	12.5	14.6	14.4	14.6	13.1	12.7	11.8	10.3
1989	9	8.8	8.8	10.1	12.3	12.9	13.7	13.1	13.6	12.1	12.5	11.9
1990	9.4	11.3	11.3	12.1	13.6	12.2	14.5	13.8	14	10.9	10.5	9.1
1991	9.5	9.9	9.5	11	14	14.8	15.1	15.2	12.9	12.6	11.5	11.9
1992	9.8	10.6	12.2	14	15.2	13.7	15	13.9	14.9	13.3	13.1	11.6
1993	9.3	10.6	9	10.9	13.4	15.8	16.6	15.5	14.2	12.9	11.6	11.2
1994	10.4	10.1	10.6	10.7	13.8	15.4	16.5	16	14.2	14.5	12.6	11.5
1995	11.1	11.5	9.9	13.6	15.5	16.4	16.9	17	14.5	15.2	13.2	12
1996	11.4	9.7	11.2	11.7	14.6	15.9	16.2	17.1	15.8	14.8	12.5	11.5
1997	9.7	9.4	10	12.1	14.3	16.5	17	14.8	14.1	15	13.6	13.7
1998	11.2	12.1	12.3	15	17.8	16	17.9	17.4	17.7	15.9	14.8	12
1999	11.3	9.3	9.9	11.2	14.1	16.8	16.1	15.4	15.1	12.9	14.5	12.9
2000	9.6	9.7	10.4	12.5	14.8	16.1	16.7	15.4	16.4	12.8	15.5	12.2
2001	9.1	9.1	9.6	10.9	13.4	13.8	14.6	14.3	13.5	12.7	12.6	11.7
2002	10.8	9	9.8	10.3	12.6	13.7	12.2	14.3	13.1	11.8	12.4	11
2003	9.9	9.9	9.5	12.2	13.1	15.2	15.5	15.1	13.9	13.3	13.7	12.2
2004	8.5	9.6	10.6	11.9	15.6	15	14.5	13.2	13.1	13.6	13.2	11.4
2005	10	9.6	10.7	12.2	15.1	16.8	16.1	16.6	14.6	13.2	12.6	11
2006	11.4	9.7	11.2	11.7	14.6	15.9	16.2	17.1	15.8	14.8	12.5	11.5
2007	9.7	9.4	10	12.1	14.3	16.5	17	14.8	14.1	15	13.6	13.7
2008	11.2	12.1	12.3	15	17.8	16	17.9	17.4	17.7	15.9	14.8	12
2009	11.3	9.3	9.9	11.2	14.1	16.8	16.1	15.4	15.1	12.9	14.5	12.9

FUENTE: TESISTA

$$\Delta T = T_{max} - T_{min}$$

VALORES CALCULADOS DE: RAÍZ DE RANGO DE TEMPERATURA

ANOS	ENER.	FEB.	MAR.	ABRL.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOT.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
1981	2.96648	2.96648	3.06594	3.33167	3.63318	3.93700	3.86005	3.56371	3.53553	3.36155	3.24037	3.09839
1982	3.06594	3.13050	3.01662	3.28634	3.83406	3.78153	3.79473	3.75500	3.43511	3.30151	3.22490	3.43511
1983	3.34664	3.22490	3.42053	3.36155	3.80789	3.92428	4.02492	3.71484	3.68782	3.59166	3.79473	3.31662
1984	3.00000	2.96648	2.93258	3.36155	3.56371	3.60555	3.72827	3.72827	3.76829	3.16228	3.14643	3.17805
1985	2.96648	2.82843	2.96648	3.03315	3.34664	3.42053	3.74166	3.68782	3.42053	3.57771	2.12132	2.94958
1986	3.03315	2.91548	2.89828	3.04959	3.60555	3.67423	3.67423	3.52136	3.39116	3.54965	3.43511	3.04959
1987	2.89828	3.27109	3.27109	3.42053	3.68782	3.72827	3.72827	3.78153	3.71484	3.56371	3.22490	3.44964
1988	3.01662	3.30151	3.00000	3.17805	3.53553	3.82099	3.79473	3.82099	3.61939	3.56371	3.43511	3.20936
1989	3.00000	2.96648	2.96648	3.17805	3.50714	3.59166	3.70135	3.61939	3.68782	3.47851	3.53553	3.44964
1990	3.06594	3.36155	3.36155	3.47851	3.68782	3.49285	3.80789	3.71484	3.74166	3.30151	3.24037	3.01662
1991	3.08221	3.14643	3.08221	3.31662	3.74166	3.84708	3.88587	3.89872	3.59166	3.54965	3.39116	3.44964
1992	3.13050	3.25576	3.49285	3.74166	3.89872	3.70135	3.87298	3.72827	3.86005	3.64692	3.61939	3.40588
1993	3.04959	3.25576	3.00000	3.30151	3.66060	3.97492	4.07431	3.93700	3.92428	3.59166	3.40588	3.34664
1994	3.22490	3.17805	3.25576	3.27109	3.71484	3.92428	4.06202	4.00000	3.76829	3.80789	3.54965	3.39116
1995	3.33167	3.39116	3.14643	3.68782	3.93700	4.04969	4.11096	4.12311	3.80789	3.89872	3.63318	3.46410
1996	3.37639	3.11448	3.34664	3.42053	3.82099	3.98748	4.02492	4.13521	3.97492	3.84708	3.53553	3.39116
1997	3.11448	3.06594	3.16228	3.47851	3.78153	4.06202	4.12311	3.84708	3.75500	3.87298	3.68782	3.70135
1998	3.34664	3.47851	3.50714	3.87298	4.21900	4.00000	4.23084	4.17133	4.20714	3.98748	3.84708	3.46410
1999	3.36155	3.04959	3.14643	3.34664	3.75500	4.09878	4.01248	3.92428	3.88587	3.59166	3.80789	3.59166
2000	3.09839	3.11448	3.22490	3.53553	3.84708	4.01248	4.08656	3.92428	4.04969	3.57771	3.93700	3.49285
2001	3.01662	3.01662	3.09839	3.30151	3.66060	3.71484	3.82099	3.78153	3.67423	3.56371	3.54965	3.42053
2002	3.28634	3.00000	3.13050	3.20936	3.54965	3.70135	3.49285	3.78153	3.61939	3.43511	3.52136	3.31662
2003	3.14643	3.14643	3.08221	3.49285	3.61939	3.89872	3.93700	3.88587	3.72827	3.64692	3.70135	3.49285
2004	2.91548	3.09839	3.25576	3.44964	3.94968	3.87298	3.80789	3.63318	3.61939	3.68782	3.63318	3.37639
2005	3.16228	3.09839	3.27109	3.49285	3.88587	4.09878	4.01248	4.07431	3.82099	3.63318	3.54965	3.31662
2006	3.37639	3.11448	3.34664	3.42053	3.82099	3.98748	4.02492	4.13521	3.97492	3.84708	3.53553	3.39116
2007	3.11448	3.06594	3.16228	3.47851	3.78153	4.06202	4.12311	3.84708	3.75500	3.87298	3.68782	3.70135
2008	3.34664	3.47851	3.50714	3.87298	4.21900	4.00000	4.23084	4.17133	4.20714	3.98748	3.84708	3.46410
2009	3.36155	3.04959	3.14643	3.34664	3.75500	4.09878	4.01248	3.92428	3.88587	3.59166	3.80789	3.59166

FUENTE: TESISTA

$$\Delta T = \sqrt{T_{max} - T_{min}}$$

VALORES CALCULADOS DE: RELACIÓN ENTRE DÉFICIT DE PRESIÓN DE VAPOR Y LA VELOCIDAD DEL VIENTO

ANOS	ENER.	FEB.	MAR.	ABRL.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOT.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
1981	1.57406	1.29191	1.54744	1.54005	1.40816	2.05097	1.87619	2.15782	2.32733	2.55732	3.05750	2.40882
1982	1.64417	2.41428	1.99978	1.72816	2.112028	2.11261	1.85323	1.88395	1.83510	2.44243	2.33284	2.93382
1983	3.27951	2.54404	2.45479	1.81091	2.07637	2.43615	2.38069	1.87765	2.83234	2.66620	3.59097	2.86656
1984	1.38243	1.33499	1.40822	1.66952	1.64033	2.33477	1.39441	2.34521	2.59512	2.33110	2.07266	2.30941
1985	2.00833	1.46389	1.80043	1.85986	1.76092	1.68401	2.27408	2.08387	2.17008	2.72025	2.58148	1.58508
1986	2.05854	1.50187	1.22185	1.28685	1.78057	1.45745	1.65369	1.92470	2.02365	2.56957	2.58214	2.25801
1987	1.50303	1.22203	1.48112	1.85015	2.15948	1.50517	1.65245	1.73192	2.23357	1.96923	2.40290	2.53934
1988	1.42938	1.80711	1.38883	1.33573	1.49085	1.24060	1.39298	1.44812	2.27163	2.11353	2.55585	2.08381
1989	1.67767	1.68426	1.47614	1.33189	1.25564	1.30902	1.40782	1.71706	2.26800	2.42323	2.73312	2.72155
1990	1.66143	2.15902	1.96584	1.56983	1.70892	1.18785	1.61212	1.69593	1.76092	1.82198	1.60469	1.92101
1991	1.60006	1.83749	1.46863	1.43278	1.39814	1.22436	1.50821	1.65073	1.91135	2.06611	2.42159	2.34180
1992	1.62839	1.87798	2.00278	2.06611	1.90307	1.38909	1.53461	1.40753	2.25643	2.12234	2.04028	1.95536
1993	1.44415	1.72888	1.35841	1.20572	1.22296	0.96580	1.19650	1.06010	1.80820	1.53764	1.58682	1.44522
1994	1.37704	1.28849	1.15535	2.13018	0.96486	1.05083	1.23475	1.50750	1.64707	1.85047	1.69522	1.75717
1995	1.54757	0.96055	1.40009	1.34417	1.18192	1.32032	1.37123	1.77576	1.86815	2.21813	2.73808	1.93942
1996	1.81916	1.65592	1.60294	1.32420	1.35444	1.79713	1.54354	2.11176	2.58301	2.38914	1.84716	1.97922
1997	1.31018	1.17102	1.52120	0.98311	1.19430	0.93467	0.89152	1.02087	1.27513	1.38321	1.19513	1.53123
1998	1.16733	0.88417	1.13479	1.06625	1.18088	1.01591	0.99805	1.32278	1.73963	2.02831	1.80311	1.57059
1999	0.96806	0.98302	1.09867	1.09778	0.84020	0.88327	1.04699	1.12837	1.24744	1.46164	1.53137	1.53774
2000	1.03585	0.89754	1.15264	0.97811	1.01029	1.04672	1.02445	1.14306	1.48689	1.31498	1.42016	0.98566
2001	0.86218	0.81206	0.89652	0.85782	0.87645	0.91237	0.69789	0.94744	1.22955	1.25868	1.31955	1.10603
2002	0.95146	0.99484	1.11142	0.97786	0.89392	0.94878	0.98926	0.73508	0.95626	0.95189	0.97272	0.72367
2003	0.74031	0.50384	0.55403	0.70770	0.67815	0.49263	0.68169	0.72017	0.87294	1.10025	0.98500	1.09627
2004	0.51171	0.68070	0.74628	0.60988	0.93337	0.76810	0.64550	0.60959	0.89132	1.48235	1.24558	1.22584
2005	0.77916	0.75790	0.69542	0.55627	0.73827	0.62486	0.70326	1.01466	1.02949	0.90811	1.09016	0.97307
2006	1.81916	1.65592	1.60294	1.32420	1.35444	1.79713	1.54354	2.11176	2.58301	2.38914	1.84716	1.97922
2007	1.31018	1.17102	1.52120	0.98311	1.19430	0.93467	0.89152	1.02087	1.27513	1.38321	1.19513	1.53123
2008	1.16733	0.88417	1.13479	1.05625	1.18088	1.01591	0.99805	1.32278	1.73963	2.02831	1.80311	1.57059
2009	0.96806	0.98302	1.09867	1.09778	0.84020	0.88327	1.04699	1.12837	1.24744	1.46164	1.53137	1.53774

FUENTE: TESISTA

$$(u_2 \times Def)$$

u_2 = velocidad del viento medida a 2 metros de altura en m/s

Def = déficit de presión de vapor en kPa, se obtiene por la siguiente ecuación:

**CALIBRACIÓN DE LA RELACIÓN (MODELO)
PARÁMETROS ESTIMADOS DE REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE**

<i>Variables</i>	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Intercepción	-110.623016	20.6449706	-5.35835182	2.6048E-07	-151.3666575	-69.8794573
Variable X 1	23.4192992	2.13623027	10.9629095	1.1979E-21	19.2033754	27.635223
Variable X 2	28.0463667	4.07912626	6.87558191	1.0338E-10	19.9960709	36.0966625
Variable X 3	6.75573714	0.65802309	10.2667174	1.1263E-19	5.45710597	8.05436832

La variable X1: Es igual al producto de la velocidad del viento y el déficit de presión de vapor.

La variable X2: Es la raíz cuadrada del rango de temperatura,

La variable X3: Es la radiación extraterrestre

RELACIÓN ESTADÍSTICA (MODELO)

(ET_o) evapotranspiración de referencia en mm/mes

AÑOS	ENER.	FEB.	MAR.	ABRIL.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOT.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
1996	140.848	126.301	123.465	107.525	107.304	116.261	114.074	139.933	157.958	155.913	144.616	144.335
1997	121.582	113.584	116.380	101.163	102.447	98.153	101.558	106.304	121.161	133.081	133.617	142.543
1998	124.748	118.437	117.003	113.939	114.402	98.316	107.075	122.469	144.720	151.400	152.322	136.811
1999	120.499	108.723	106.040	100.150	93.410	97.980	102.097	110.987	124.183	127.028	144.859	139.619
2000	114.706	108.541	109.505	102.645	99.976	99.388	103.646	111.331	134.385	123.202	145.876	123.919
2001	108.346	103.794	99.959	93.265	91.612	87.894	88.550	102.746	117.828	121.490	132.656	124.709
2002	118.001	107.609	105.892	93.491	88.909	88.368	86.171	97.773	109.890	110.699	123.740	112.840
2003	109.132	100.216	91.484	95.115	85.812	83.221	91.425	100.350	110.992	120.114	129.075	126.509
2004	97.301	103.011	100.854	91.612	101.052	88.950	86.956	90.673	108.369	130.210	133.266	126.277
2005	110.487	104.819	100.093	91.569	94.693	91.929	94.047	112.532	117.259	115.229	127.283	118.681
2006	101.766	107.291	92.420	90.600	92.927	86.032	92.863	104.296	121.505	123.686	125.108	122.885
2007	113.016	108.156	92.255	88.430	95.192	86.333	95.462	106.492	105.676	119.223	126.393	121.547
2008	101.551	109.934	98.355	107.718	99.227	99.300	100.972	110.201	129.488	121.795	135.880	118.784
2009	115.448	103.320	101.256	94.888	101.737	97.698	107.140	120.827	127.357	128.783	126.328	124.310

FUENTE: TESISTA

$$ET_o = -110.62 + 23.42(u_2 \times Def) + 28.05\sqrt{\Delta T} + 6.76Ra$$

Donde:

ET_o = evapotranspiración de referencia en mm/mes

u_2 = velocidad del viento medida a 2 metros de altura en m/s

Def = déficit de presión de vapor en kPa, se obtiene por la siguiente ecuación:

ΔT = rango de temperatura en°C, se obtiene de: $\Delta T = T_{max} - T_{min}$

Ra = radiación extraterrestre en mm/mes.

MÉTODO DE PENMAN-MONTEITH

(ET_o) evapotranspiración de referencia en mm/mes

ANOS	ENER.	FEB.	MAR.	ABRIL.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOT.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
1996	127.41	104.72	117.49	106.8	98.89	99.9	99.51	122.14	136.2	148.49	134.4	131.13
1997	116.25	94.92	112.53	98.4	93.31	82.5	86.49	98.27	111.3	129.89	129	134.85
1998	123.07	103.6	116.56	109.5	99.2	85.8	89.9	109.43	124.8	142.29	140.1	134.54
1999	119.35	97.16	110.98	104.1	88.97	82.2	89.59	103.85	114.3	130.2	135.9	132.06
2000	116.25	96.88	111.91	102.9	93.31	86.7	88.66	102.92	120	126.48	135	121.21
2001	111.91	95.76	104.47	98.4	87.42	81.3	79.98	96.1	109.8	123.69	129.9	122.14
2002	118.42	97.16	110.36	102.3	88.66	82.8	82.46	93	105	117.18	123.9	117.49
2003	114.39	94.36	101.68	98.4	84.32	72.9	79.98	93.31	102.6	122.76	126.3	124
2004	107.26	94.64	106.64	97.8	91.45	78.3	78.74	88.97	103.5	129.89	129	125.86
2005	117.18	95.76	105.71	98.4	88.04	76.8	82.15	101.06	109.5	121.83	126	121.83
2006	118.42	97.16	110.36	102.3	88.66	82.8	82.46	93	105	117.18	123.9	117.49
2007	114.39	94.36	101.68	98.4	84.32	72.9	79.98	93.31	102.6	122.76	126.3	124
2008	107.26	94.64	106.64	97.8	91.45	78.3	78.74	88.97	103.5	129.89	129	125.86
2009	117.18	95.76	105.71	98.4	88.04	76.8	82.15	101.06	109.5	121.83	126	121.83

FUENTE: TESISTA

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

Donde:

ET_o = evapotranspiración de referencia (mm día⁻¹)

R_n = radiación neta en la superficie del cultivo (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)

U₂ = velocidad del viento a 2 m de altura (ms⁻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)

MÉTODO DE HARGREAVES

(ET_o) evapotranspiración de referencia en mm/mes

AÑOS	ENER.	FEB.	MAR.	ABRL.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOT.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
1996	114.323	91.610	101.555	87.462	82.557	72.058	79.068	93.061	106.680	120.076	111.831	114.754
1997	103.391	86.782	91.505	82.140	78.392	71.892	81.326	85.367	98.740	116.268	120.685	132.787
1998	121.381	111.134	111.936	103.541	92.564	76.308	84.296	100.057	114.780	124.674	130.330	128.633
1999	116.859	90.667	95.991	86.352	81.600	74.833	82.188	93.426	105.249	109.963	127.028	127.991
2000	106.404	92.596	98.210	90.732	86.008	75.201	79.137	92.015	110.685	106.240	129.520	117.149
2001	100.143	89.687	93.014	84.111	78.786	70.038	73.536	84.762	99.154	108.335	120.254	117.386
2002	114.442	90.619	97.031	82.959	78.174	69.922	68.337	86.800	96.602	103.867	116.861	115.211
2003	110.518	96.869	95.034	89.148	78.050	70.018	76.869	88.147	95.830	110.074	123.900	123.843
2004	99.947	93.918	102.326	89.491	84.349	69.845	74.348	82.252	95.531	113.906	122.246	120.522
2005	111.265	93.263	102.275	91.426	84.769	73.917	81.227	92.971	102.926	111.037	117.390	117.594
2006	114.442	90.619	97.031	82.959	78.174	69.922	68.337	86.800	96.602	103.867	116.861	115.211
2007	110.518	96.869	95.034	89.148	78.050	70.018	76.869	88.147	95.830	110.074	123.900	123.843
2008	99.947	93.918	102.326	89.491	84.349	69.845	74.348	82.252	95.531	113.906	122.246	120.522
2009	111.265	93.263	102.275	91.426	84.769	73.917	81.227	92.971	102.926	111.037	117.390	117.594

FUENTE: TESISTA

$$ET_o = 0.0023(T_{media} + 17.8)(T_{max} - T_{min})^{0.5} Ra$$

Donde:

ET_o = Evapotranspiración del cultivo de referencia (mm/día).

T_{max} = Temperatura máxima promedio del día (°C)

T_{min} = Temperatura mínima promedio del día (°C)

Ra = Radiación solar extraterrestre (mm/día)

MÉTODO DE SERRUTO

(ET_o) evapotranspiración de referencia en mm/mes

AÑOS	ENER.	FEB.	MAR.	ABRL.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOT.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
1996	147.811	125.627	122.058	95.554	74.803	59.253	65.839	80.761	104.078	124.688	137.861	146.698
1997	145.991	122.468	117.729	88.700	71.208	57.556	66.185	79.553	102.296	121.065	140.901	152.245
1998	154.338	132.706	126.808	99.547	76.157	63.759	67.049	86.368	105.526	124.852	144.065	155.624
1999	150.275	126.522	122.553	96.358	75.312	60.096	69.448	85.695	104.884	122.882	142.645	151.598
2000	149.128	126.522	122.388	95.876	77.840	62.269	64.621	84.345	105.687	120.068	141.378	145.873
2001	145.991	126.522	121.065	95.232	74.463	62.767	64.097	80.417	104.562	122.223	144.065	148.012
2002	150.439	127.859	124.033	96.518	76.495	62.932	65.492	82.475	103.593	121.727	142.171	149.157
2003	151.255	129.484	123.540	95.394	74.633	58.746	65.318	81.448	100.337	121.562	142.961	151.111
2004	148.964	128.155	125.342	96.839	73.782	59.084	65.318	81.277	102.621	123.704	143.435	151.760
2005	151.418	127.562	124.852	97.638	75.650	59.084	68.423	81.962	104.400	122.717	141.854	151.111
2006	150.439	127.859	124.033	96.518	76.495	62.932	65.492	82.475	103.593	121.727	142.171	149.157
2007	151.255	129.484	123.540	95.394	74.633	58.746	65.318	81.448	100.337	121.562	142.961	151.111
2008	148.964	128.155	125.342	96.839	73.782	59.084	65.318	81.277	102.621	123.704	143.435	151.760
2009	151.418	127.562	124.852	97.638	75.650	59.084	68.423	81.962	104.400	122.717	141.854	151.111

FUENTE: TESISTA

$$ETP = 0.003(RS)^{2.5} + 0.16(T)^{0.88}$$

Donde:

ETP = evapotranspiración potencial o evapotranspiración de referencia (mm/día).

RS = radiación solar extraterrestre (mm/día).

T = temperatura media mensual (°C).