



Universidad Nacional
SAN LUIS GONZAGA



Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional

Esta licencia es la más restrictiva de las seis licencias principales Creative Commons, permitiendo a otras solo descargar sus obras y compartirlas con otras siempre y cuando den crédito, pero no pueden cambiarlas de forma alguna ni usarlas de forma comercial.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>



"Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional"

CONSTANCIA DE APROBACIÓN DE TESIS N°031-2022

En la Unidad de Investigación de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional San Luis Gonzaga, de la ciudad de Ica, se expide la presente Constancia de Revisión de Autenticidad de Trabajos de Tesis luego de cumplir con la evaluación mediante el **SOFTWARE ANTIPLAGIO** de la Universidad Nacional San Luis Gonzaga, según detalle:

ITEMS	DATOS
OPERADOR DE PROGRAMA INFORMÁTICO ITHENTICATE – EVALUADOR DE ORIGINALIDAD	Lissett Augusta Peche Valenzuela
FECHA DEL ANÁLISIS	Ica, 21 de setiembre de 2022
TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PRESENTADO POR:	MELGAR ROJAS BELINDA
TRABAJO DE TESIS TITULADO:	Efecto de las variables meteorológicas en el uso consuntivo del cultivo de granado (<i>Punica granatum L.</i>) variedad wonderful en la zona baja del valle de Ica
FACULTAD	AGRONOMÍA
TRAMITE	EVALUACIÓN DE SIMILITUD
RESULTADO	APROBADO
PORCENTAJE DE AUTENTICIDAD	93%
PORCENTAJE DE SIMILITUD	07%
OBSERVACIONES	<ul style="list-style-type: none">• Se analizó la TESIS mediante el programa informático iThenticate.• Se consideró la exclusión de cadenas sintácticas de 40 palabras, se adjunta pantallazo de la exclusión. (15.5 La exclusión de cadenas sintácticas cortas proceden para evitar que, frases habituales o de conexión, sean reportadas como similitudes. La longitud de las cadenas excluidas no debe superar las cuarenta (40) palabras y debe adecuarse a las características de la disciplina a la que corresponde el documento evaluado, además debe constar en el informe los criterios de exclusión utilizados.)

Asimismo en **REGLAMENTO DE GRADOS ACADÉMICOS Y TÍTULOS PROFESIONALES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL "SAN LUIS GONZAGA"** Aprobado con Resolución Rectoral N°048-R-UNICA-2021 - el artículo N°32-**Procedimiento para la obtención del Título profesional** - inciso 14 que a la letra dice: **Si el resultado del sistema antiplagió es favorable, los revisores le entregan al asesorado una constancia de aprobación** y remiten un informe al comité de investigación, quien lo deriva a la unidad de investigación para que elabore un oficio dirigido al decano informando sobre la aprobación de la tesis acompañando el informe y copia de la tesis.

Se expide la presente a solicitud del interesado para los fines que considere correspondientes que se encuentren **tipificados dentro de la normatividad vigente**.

Dr. RAUL CAMPOS TIPIANI
Presidente de jurado revisor

Mag. ORLANDO BALBIN CARDENAS
Secretario de jurado revisor

Dr. JORGE MAGALLANES MAGALLANES
Vocal de jurado revisor

UNIVERSIDAD NACIONAL “SAN LUIS GONZAGA”
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
FACULTAD DE AGRONOMÍA



**“Efecto de las variables meteorológicas en el uso consuntivo
del cultivo de granado (*Púnica granatum L.*) variedad wonderful
en la zona baja del valle de Ica”**

Línea de Investigación:

Ciencias naturales, ingeniería y tecnologías sostenibles

Informe final de tesis

Autor:

BELINDA MELGAR ROJAS

Ica – Perú

2022

DEDICATORIA:

Esta tesis está dedicada a:

A Dios y a mis angelitos quien ha sido mi guía, fortaleza y su mano de fidelidad y amor han estado conmigo hasta el día de hoy.

A mis padres Olmedo y Sonia quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades porque Dios está conmigo siempre.

A mis hermanos Ediluz, Aníbal, Cristian, Clinton, Andy y Camila por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento, a mi peludito Dalton; mi hijo canino.

A toda mi familia porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas.

Finalmente quiero dedicar esta tesis a todas mis amigas, en especial a María, por apoyarme cuando más las necesito, por extender su mano en momentos difíciles y por el amor brindado cada día, de verdad mil gracias, siempre las llevo en mi corazón.

AGRADECIMIENTO:

Quiero expresar mi gratitud a Dios, quien con su bendición llena siempre mi vida y a toda mi familia por estar siempre presentes.

De igual manera mis agradecimientos a la Universidad Nacional San Luis Gonzaga, a toda la Facultad de Agronomía, a todos mis docentes de la facultad de Agronomía quienes con la enseñanza de sus valiosos conocimientos hicieron que pueda crecer día a día como profesional, gracias a cada una de ustedes por su paciencia, dedicación, apoyo incondicional y amistad.

Finalmente quiero expresar mi más grande y sincero agradecimiento al Dr. Vicente Almeyda Napa, principal colaborador durante todo este proceso, quien con su dirección, conocimiento, enseñanza y colaboración permitió el desarrollo de este trabajo.

INDICE

CONTENIDO	Pág.
RESUMEN.....	vii
ABSTRACT.....	viii
I INTRODUCCIÓN.....	1
II ESTRATEGIA METODOLÓGICA.....	5
III RESULTADOS.....	8
IV DISCUSIÓN.....	41
V CONCLUSIONES.....	43
VI RECOMENDACIONES.....	44
VII REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS.....	45
VIII ANEXO.....	46

INDICE DE TABLA

CONTENIDO	Pág.
TABLA N° 1 Análisis e interpretación químico del suelo	7
TABLA N° 2 Análisis físico mecánico del suelo.....	8
TABLA N° 3 Volumen de riego aplicado al cultivo de granado en la zona del valle de Ica.....	9
TABLA N° 4 Variables meteorológicas de la zona baja del valle de Ica estación Santiago “Apóstol” - Santiago.....	11
TABLA N° 5 Valores de la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET _o) en la zona baja del valle de Ica.....	36
TABLA N° 6 Valores del coeficiente del cultivo (K _c) de granado.....	37
TABLA N° 7 Valores del uso consuntivo del cultivo de granado en la zona baja del valle de Ica.....	38

INDICE FIGURA

CONTENIDO	Pág.
Imágenes de Campo.....	46
Cuadros Meteorológicos.....	48

RESUMEN

En el presente trabajo de Tesis se ha utilizado los valores de las variables meteorológicas, así como la ecuación de Penman – Monteith se determinó la evapotranspiración del cultivo de referencia (E_{to}) de acuerdo a las etapas de desarrollo del cultivo, así como de los valores del coeficiente del cultivo (K_c) del cultivo de granado, obteniéndose finalmente el uso consuntivo del cultivo en relación a las etapas de desarrollo que fue de $5,375.30 \text{ m}^3/\text{ha}$ para la campaña agrícola y para las condiciones de la zona de Santa Dominguita, La Venta – Ica.

Así mismo el objetivo de la presente tesis es:

- **Objetivo general.**

Determinar el efecto de las variables meteorológicas con el uso consuntivo del cultivo de granado, variedad wonderful y mejorar el uso del agua de riego para las condiciones de la zona baja del valle de Ica.

- **Objetivo específico.**

Mediante el efecto de las variables meteorológicas se podrá determinar el uso consuntivo del cultivo de granado en función de las etapas de desarrollo del cultivo a lo largo de una campaña agrícola y mejorar la eficiencia del uso del agua de riego para las condiciones de la zona de Santa Dominguita – Ica.

Palabras claves: Uso consuntivo, cultivo de granado, variedad wonderful, zona baja del valle de Ica.

ABSTRACT

In this thesis work, the values of the meteorological variables have been used, as well as the Penman-Monteith equation, the evapotranspiration of the reference crop (E_{to}) was determined according to the stages of development of the crop, as well as the values of the crop coefficient (K_c) of the pomegranate crop, finally obtaining the consumptive use of the crop in relation to the stages of development, which was 5,375.30 m³/ha for the agricultural campaign and for the conditions of the area of Santa Dominguita, La Venta – Ica.

Likewise, the objective of this thesis is:

- General objective.

To determine the effect of the meteorological variables with the consumptive use of the pomegranate crop, wonderful variety, and to improve the use of irrigation water for the conditions of the lower area of the Ica Valley.

- Specific goal.

Through the effect of the meteorological variables, it will be possible to determine the consumptive use of the pomegranate crop based on the stages of development of the crop throughout an agricultural campaign and improve the efficiency of the use of irrigation water for the conditions of the area of cultivation. Santa Dominguita – Ica.

Keywords: Consumptive use, pomegranate cultivation, wonderful variety, lower area of the Ica Valley.

I. INTRODUCCIÓN

De la diversidad de cultivos que se desarrollan durante muchos años en las tres zonas que conforman el Valle de Ica, el frutal granado es uno que está adquiriendo mucha importancia, entre los agricultores que se dedican a la conducción de estos cultivos, por la buena producción y calidad de sus productos y además por ser un cultivo que se adapta muy bien a condiciones adversas de suelo, agua y clima.

Pero a la mayoría de agricultores que se dedican a la producción de diferentes cultivos, no se les apoya en las diversas áreas de la conducción de los cultivos como son uso eficiente del recurso hídrico, manejo de fertilización, control de la contaminación por metales pesados, control de plagas y enfermedades, que los apoyen en la toma de decisiones en la conducción de estos cultivos.

Así mismo todos conocemos de la poca disponibilidad del recurso hídrico que viene afectando durante muchos años a la zona del valle de Ica, por lo que se hace necesario utilizar todas las técnicas posibles para mejorar la eficiencia de uso del agua de riego, especialmente en la zona baja del valle de Ica.

Mediante el presente trabajo de investigación se piensa determinar el efecto que tienen las variables meteorológicas en el consumo de agua por el cultivo de granado y ponerlo a disposición de los agricultores que se dedican a la producción de diversos cultivos, especialmente del cultivo de granado y realizar un manejo adecuado del recurso hídrico para las condiciones de la zona baja del valle de Ica.

1.1 MARCO TEÓRICO

1.1.1 Antecedentes del problema de investigación

- Antecedentes a nivel internacional

GONZALES Y CHÁVEZ (2012). Realizaron el estudio; “Comparación de métodos para determinar la evapotranspiración y oportunidad de riego de granada”. En donde, con el propósito de manejar eficientemente el agua de riego y aumentar el nivel tecnológico en el sector agrícola, buscaron incrementar la rentabilidad y sustentabilidad del granado, mediante la determinación de la evapotranspiración para este cultivo. Para ello realizaron la comparación de tres métodos de análisis: Penman-Monteith, Doorembos-Pruit y Hargreaves-Samani, a partir del monitoreo de las variables meteorológicas con estaciones agroclimáticas automatizadas en red.

- **Antecedentes a nivel local**

JORDAN L. y TIPISMANA C. (2017). En su trabajo de tesis titulado: Determinación de la evapotranspiración del cultivo de pecano (*Carya flinoensis Koch*), variedad Mahan en la zona baja del valle de Ica, encontraron los siguientes resultados:

Como se puede observarse de los resultados obtenidos de la evapotranspiración del cultivo de pecano en la zona baja del valle de Ica, se puede observar que el valor mínimo de la evapotranspiración del cultivo de pecano se presentan en los meses de junio y julio con valores de 0.75 mm/día, que corresponde a los meses en que el cultivo no inicia el proceso de brotación, notándose que el valor de la evapotranspiración del cultivo se empieza a incrementar en el mes de setiembre que corresponde a la etapa de brotación con un valor de 1.35 mm/día y los meses de mayor evapotranspiración corresponde a los meses de enero y febrero con valores de 3.07 y 2.99 mm que vienen a ser las etapas de llenado y crecimiento del fruto del pecano .

1.1.2 Bases teóricas de la investigación.

Reino : Plantae
División : Magnoliophyta
Clase : Magnoliopsida
Orden : Mytales
Familia : Lythraceae
Género : Púnica
Especie : Púnica Granatum L.

1.1.3 Conceptos de evapotranspiración, según FAO (2006).

La evapotranspiración (ET), se puede definir como la pérdida de agua que ocurre en una superficie, como consecuencia de la combinación de los procesos de evaporación de una superficie evaporante (lagos, ríos, mares, suelos y vegetación mejorada) y la transpiración de la planta. La ET es un componente del balance del agua y un parámetro importante en la definición de las necesidades hídricas de los cultivos y por consiguiente en la programación de riego de los cultivos.

1.1.4 Evapotranspiración según FAO (2006) Penman - Monteith.

Según la F. A. O. (2006), organizó un panel de expertos e investigadores en riego en el año 1990 en coordinación con la Comisión Internacional de Riego y Drenaje y con la Organización Metalúrgica Mundial, con el fin de revisar las metodologías expuestas por la F. A. O. para el cálculo del consumo de agua los cultivos y para actualizar los conceptos y formulas al respecto.

Los expertos recomendaron como único método estandarizado al método de Penman Monteith para el cálculo de la evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo).

$$ETo = \frac{0.48 \Delta (Rn - G) + \frac{900}{T + 273} V_2 (ef - ea)}{\Delta + \delta (1 + 0.3402)}$$

Dónde:

ETo = mm/día.

Rn = Radiación neta ($MJ m^2$ día).

Ra = Radiación extraterrestre

G = Flujo de calor del suelo.

T = Temperatura del aire °C.

V_2 = Velocidad del viento m/seg.

$(ef - ea)$ = Déficit de presión de vapor.

1.2 HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

1.2.1 Hipótesis general.

Mediante el efecto de las variables meteorológicas se podrá determinar el uso consuntivo del cultivo de granado para las condiciones de la zona baja del valle de Ica.

1.2.2 Hipótesis específica.

Mediante el efecto de las variables meteorológicas se podrá determinar el uso consuntivo del cultivo de granado en función de las etapas de desarrollo del cultivo a lo largo de una campaña agrícola y mejorar la eficiencia del uso del agua de riego para las condiciones de la zona de Santa Dominguita – Ica.

II. ESTRATEGIA METODOLÓGICA

2.1 TIPO, NIVEL Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1 Tipo de investigación.

- El tipo de investigación es no experimental.

2.1.2 Nivel de investigación.

- Aplicada.

2.1.3 Diseño de investigación.

- El diseño de la investigación es longitudinal de tendencia, porque se evalúa el efecto de las variables meteorológicas y el coeficiente de cultivo (Kc) de granado a lo largo de una campaña, para las condiciones de la zona baja del valle de Ica.

2.2 POBLACIÓN Y MUESTRA DE ESTUDIO

2.2.1 Población de estudio.

La población de estudio viene a ser el cultivo de granado instalado en la parcela de estudio de aproximadamente 8 hectáreas, ubicada en la parte baja del valle de Ica.

2.2.2 Muestra de estudio

La muestra de estudio en el presente trabajo de investigación lo constituye cada una de las planas instaladas en la parcela de aproximadamente 8 hectáreas de cultivo de granado y que constituye la población de estudio, instaladas en la zona baja del valle de Ica.

La población y la muestra de estudio viene a ser la misma porque las variables meteorológicas influyen sobre todas las plantas de granado instalados en la parcela.

2.3 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Los datos utilizados en el presente trabajo de investigación fueron proporcionados por la estación “Santiago Apóstol”.

La información meteorológica proporcionada fue la siguiente:

- Humedad relativa media.
- Horas de sol
- Velocidad del viento.
- Temperatura media.

Los valores del coeficiente del cultivo (Kc) del granado, fueron tomados de trabajos de investigación.

También se tomaron muestras de suelos a una profundidad de 0.30 m. de puntos representativos de la zona de estudio, los cuales se homogenizaron obteniéndose una sola muestra de 1 Kg de peso aproximadamente, lo cual se envió al laboratorio de química agrícola para su análisis respectivo.

2.4 INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Se utilizaron los siguientes instrumentos:

- Heliofonógrafo: Instrumento que mide y registra las horas de sol diaria.
- Anemógrafo: Instrumento que permite registrar la velocidad y dirección del viento.
- Termómetro: Instrumento que mide la temperatura del aire.
- Higrómetro: Instrumento que permite medir la humedad relativa del aire.
- Lampas
- Tijeras
- Tarjetas de identificación
- Bolsas plásticas
- Bolsas de papel

2.4 TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO

La información meteorológica se obtendrá de la estación Santiago apóstol, las cuales serán analizadas y procesadas para obtener la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o) utilizando la ecuación de Penman – Monteith y el coeficiente de cultivo (K_c) de granado se obtendrá de la información proporcionada por la F. A. O. pero aplicada a las condiciones de la zona baja del valle de Ica.

La interpretación de los resultados del análisis de suelos, se realizará en función de rangos establecidos para la interpretación de las características físico mecánicas y químicas de suelo.

TABLA N° 01

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN QUÍMICO DEL SUELO 2021.

Fecha: 02/08/2021

Parámetro	Resultado	Método	Interpretación
Nitrógeno total (%)	0.03	Kjeldahl	Bajo
Fósforo disponible (ppm)	10.00	Olsen	Bajo
Potasio disponible (ppm)	495.00	Acetato de Amonio	Alto
Materia orgánica (%)	0.45	Walkley y black	Bajo
Carbonato de Calcio Total (%)	0.59	Gravimétrico	Bajo
C.E. (dS/m.)	23.50	Electrométrico	Altamente salino
pH	7.61	Electrométrico	Lig. alcalino
<u>Cationes cambiables</u>		Acetato de Amonio	
C.I.C (meq/100 gr.)	7.01	Cálculo matemático	Normal
Calcio (meq/100 gr.)	2.21	E.A.A.	Bajo
Magnesio (meq/100 gr.)	1.80	E.A.A.	Normal
Sodio (meq/100 gr.)	1.82	E.A.A.	Alto
Potasio (meq/100 gr.)	1.17	E.A.A.	Normal

Dónde:

E.A.A.: Espectrometría de absorción atómica por llama.

III. RESULTADO

3.1 PRESENTACIÓN E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

3.1.1 Análisis físico mecánico y químico del suelo

Las características físico mecánico y químico del suelo las características físico mecánicas y químicas del suelo influyen directamente en la fertilidad física y química del suelo y son de directa influencia en el rendimiento de los cultivos de ahí la necesidad de conocerlas, por lo que se tomaron muestras de suelo a una profundidad de 30 cm. de zonas representativas del área de estudio lo cual una vez homogenizadas se obtuvo una muestra de 1.0 Kg. aproximadamente la cual fue enviada al laboratorio para su análisis respectivo.

Los resultados y su interpretación se presentan en las siguientes tablas:

TABLA N° 02

ANÁLISIS FÍSICO MECÁNICO DEL SUELO 2021.

Fecha: 22/03/2021

Parámetro	Resultado	Método
Arena (%)	61.72	Bouyoucos
Limo (%)	26.47	Bouyoucos
Arcilla (%)	11.81	Bouyoucos
Textura	Franco arenoso	

3.1.2 Riego.

Los riegos se hicieron utilizando el agua subterránea extraída mediante un pozo tubular de un caudal aproximado de 50 Lit/seg., encontrándose a una longitud aproximada de 150.00 m. de la parcela de estudio.

En la siguiente tabla se presentan los valores de los volúmenes aplicados en forma mensual al cultivo de granado en la zona de la Venta – Ica.

TABLA N° 03

**VOLUMEN DE RIEGO APLICADO AL CULTIVO DE GRANADO EN LA
ZONA BAJA DEL VALLE DE ICA.**

MES	HORAS DE RIEGO/ha	VOLUMEN (m³/ha)	PROCEDENCIA
Junio	6	1,080.00	Subterránea
Julio	6	1,080.00	Subterránea
Agosto	8	1,440.00	Subterránea
Setiembre	8	1,440.00	Subterránea
Octubre	10	1,800.00	Subterránea
Noviembre	10	1,800.00	Subterránea
Diciembre	10	1,800.00	Subterránea
Enero	6	1,080.00	Subterránea
Febrero	6	1,080.00	Subterránea
VOLUMEN TOTAL APLICADO		12,600.00	

3.1.3 Fertilización.

Se utilizó la siguiente fórmula de abonamiento:

$N = 200$ $P = 180$ $K = 60$

Utilizándose las siguientes fuentes de fertilizantes:

Urea = 46% N; Fosfato di amónico 46% P_2O_5 y 18% N, y Sulfato de Potasio 50% K_2O .

Además se aplicaron aproximadamente 20 toneladas de guano de invernada para permitir una buena mineralización y disponibilidad de los fertilizantes al cultivo de granado.

3.1.4 Control de malas hierbas.

Se presentaron pocas malas hierbas en el campo de cultivo, las pocas que se presentaron fueron controladas a mano ó a lampa, por lo que no hubo competencia con el cultivo de granado por agua, luz y fertilizantes.

3.1.5 Cálculo del uso consuntivo.

Procedimiento de cálculo

Para el cálculo del uso consuntivo del cultivo de granado en la zona baja del valle de Ica, se utilizaron valores de las variables meteorológicas de la estación “Santiago Apóstol” ubicadas en la zona de Santiago.

Con estos valores se determinó la evapotranspiración del cultivo de referencia, utilizando la ecuación de Penman Monteith como único método recomendado por la F. A. O.

Los valores del coeficiente de cultivo (K_c) se obtuvieron de tablas para diferentes cultivos proporcionados por la F. A. O y con información de cultivos de granado que se desarrollan en la zona baja del valle de Ica.

Con los valores de la evapotranspiración del cultivo de referencia (E_{To}) obtenidos mes a mes durante la campaña agrícola del granado y con los valores del coeficiente de cultivo, se procedió a obtener el uso consuntivo del cultivo de granado a lo largo de una campaña agrícola para las condiciones de la zona baja.

En las siguientes tablas se presentan los valores de los resultados obtenidos.

TABLA N° 04**VARIABLES HIDROMETEOROLÓGICAS DE LA ZONA BAJA DEL VALLE DE ICA
ESTACIÓN SANTIAGO “APÓSTOL - SANTIAGO**

Mes	Temperatura media (°C)	Velocidad de viento (m/seg)	Humedad Relativa (%)	Horas de Sol
Junio	16.0	1.65	80.6	2.1
Julio	15.8	1.75	79.5	2.0
Agosto	16.6	1.83	76.4	1.7
Setiembre	17.5	1.94	74.3	1.5
Octubre	17.9	2.04	77.9	2.6
Noviembre	18.4	1.62	78.9	2.5
Diciembre	20.0	1.60	81.3	5.1
Enero	23.1	1.60	75.7	6.7
Febrero	24.2	1.20	74.7	6.4

Fuente: Estación “Santiago Apóstol”

Santiago – Ica.

Latitud: 14° 11' 22.013''

Longitud: 75° 43' 55.21''

Altitud: 373.00 m. s. n. m.

3.2 METODOLOGÍA DE CÁLCULO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO DE REFERENCIA (ET_o) UTILIZANDO LA ECUACIÓN DE PENMAN – MONTEITH.

1. Cálculo de pendiente de la curva de presión de vapor.

$$T^{\circ} = 16.0 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad \text{Cuadro N}^{\circ} 2.4$$

$$\Delta = 0.116$$

2. Cálculo de la constante psicrometría

$$\text{Altitud : } 373 \text{ m.s.n.m.} \quad \text{Cuadro N}^{\circ} 2.2$$

$$\delta = 0.064$$

3. Determinación del déficit de presión de vapor (es – ea)

3.1 Cálculo de es:

$$T^{\circ} = 16.0 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad \text{Cuadro N}^{\circ} 2.3$$

$$es = 1.818$$

3.2 Cálculo de ea:

$$ea = es \times \frac{HR}{100} = 1.818 \times \frac{80.6}{100} = 1.465$$

3.3 Cálculo de (es – ea)

$$(es - ea) = 1.818 - 1.465 = 0.353$$

4. Cálculo de la radiación neta.

$$Rn = Rns - Rnl$$

$Rn =$ Radiación solar neta y albedo.

$Rn =$ Radiación neta de onda larga.

4.1 Calculo de Rns.

$$Rn = 0.77 Rs$$

$$Rn = (0.25 + 0.50 n/n) Ra$$

a) Cálculo de Ra.

Con latitud $14^{\circ} 11' 22.13''$ y Cuadro N° 2.6

$$Ra = 27.2 \text{ MJ m}^2/\text{día}$$

b) Cálculo de n/N

$$n = 2.1 \text{ horas}$$

$N =$ Con latitud y Cuadro N° 2.7

$$n = 11.2$$

$$\frac{n}{N} = \frac{2.1 \text{ horas}}{11.2 \text{ horas}} = 0.1875$$

c) Cálculo de Rs.

$$Rs = (0.25 + 0.50 \times 0.1875) 27.2 \text{ MJ m}^2/\text{día} = 9.35$$

d) Cálculo de Rns.

$$Rns = 0.77$$

$$Rs = 0.77 \times 9.35 = 7.200$$

4.2 Cálculo de Rnl .

a) **Determinación del término $(1.35 \times Rs/Rso) - 0.35$.**

$$Rso = 0.75004 \times 27.2 = 20.4$$

$$Rs/Rso = \frac{9.35}{20.4} = 0.458$$

$$(1.35 \times 0.458) - 0.35 = 0.2683$$

b) **Cálculo del término**

$$(0.34 - 0.14\sqrt{ea}) = (0.34 - 0.14\sqrt{1.465}) = 0.17$$

c) **Cálculo de $\alpha TK4$.**

Con cuadro N° 2.8 y $T^\circ = 16.00^\circ\text{C}$

$$\alpha TK4 = 34.28 \text{ MJ m}^2/\text{día}$$

d) **Cálculo de Rnl .**

$$Rl = 0.2683 \times 0.17 \times 34.28 = 1.564$$

4.3 Cálculo de la Radiación neta.

$$Rn = Rns - Rnl$$

$$Rn = 7.200 - 1.564 = 5.636$$

5. Determinación del flujo de calor del suelo (G),

$$G = 0.14 (16 - 15.8) = 0.2$$

6. Determinación de $Rn - G$.

$$Rn - G = 5.636 - 0.2 = 5.436$$

7. Velocidad del viento.

$$V2 = 1.65 \text{ m/seg.}$$

8. Cálculo de la Evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o)

$$ET_o = \frac{0.408 \Delta (Rn - G) + \delta \times \frac{900}{T^\circ + 273} (V2) (ea - es)}{\Delta + \delta (1 + 0.34 V2)}$$

$$ET_o = \frac{0.408 \times 0.116 (5.436) + 0.064 \times \frac{900}{289} (1.65) (0.353)}{0.116 + 0.064 (1 + 0.34 \times 1.65)}$$

$$ET_o = 1.73 \text{ mm/día}$$

3.3 Metodología para la Determinación de la Evapotranspiración del Cultivo de Referencia (ET_o).

A continuación se presenta la metodología de cálculo de la Evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o), utilizado por la ecuación de Penman – Monteith:

MES: JUNIO

1. $\Delta = T^{\circ} = 16.0^{\circ}\text{C}$ y cuadro 2.4

$$\Delta = 0.116$$

2. $\delta = \text{Altitud}$ cuadro N° 2.2

$$\delta = 0.064$$

3. $(e_s - e_a) \rightarrow (e_s - e_a) = 1.818 - 1.465 = 0.353$

$$e_s = T^{\circ} = 16.0^{\circ}\text{C} \quad \text{cuadro N}^{\circ} 2.3$$

$$e_s = 1.818$$

$$e_a = 1.818 \times \frac{80.6}{100} = 1.465$$

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

4.1 $R_{ns} = 0.77 R_s = 0.77 \times 9.35 = 7.200$

$$R_s = (0.25 + 0.50 n/N) R_a \rightarrow (0.25 + 0.50 \times 0.1875) 27.2 = 9.35$$

$$R_a = 27.2$$

$$\frac{n}{N} = \frac{2.1}{11.2} = 0.1875$$

4.2 $R_{nl} =$

a. Cálculo de R_s/R_{so}

$$R_{so} = 0.75004 \times 27.2 = 20.4$$

$$\frac{R_s}{R_{so}} = \frac{9.35}{20.4} = 0.458$$

$$(1.35 \times R_s/R_{so}) - 0.36 = 0.2683$$

b. $ea = 1.465$

$$(0.34 - 0.14 \sqrt{ea}) = (0.34 - 0.14 \sqrt{1.465}) = 0.17$$

c. Cuadro 2.8 y $T^\circ 16.0^\circ C$

$$34.28 \text{ MJ m}^2/\text{día}$$

d. $R_{nl} = 0.2683 \times 0.17 \times 34.28 = 1.564$

4.3 $R_n = R_{ns} - R_{nl}$

$$R_n = 7.200 - 1.564 = 5.636$$

5. Determinación del flujo de calor del suelo (G)

$$G = 0.14 (16 - 15.8) = 0.2$$

6. $R_n - G = 5.636 - 0.2 = 5.436$

7. Viento 1.65 m/seg.

$$ET_o = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \delta \times \frac{900^{(U_2)}(e_s - e_a)}{16 + 273}}{\Delta + \delta (1 + 0.34 \times U_2)}$$

$$ET_o = \frac{0.408 \times 0.116 (5.436) + 0.064 \times \frac{900^{(1.958)(0.46)}}{289}}{0.116 + 0.064 (1 + 0.34 \times 1.65)}$$

$$ET_o = \frac{0.257 + 0.116}{0.216} = 1.73 \text{ mm/día}$$

MES: JULIO

1. $\Delta = T^{\circ} = 15.8^{\circ}\text{C}$ y cuadro 2.4

$$\Delta = 0.115$$

2. $\delta = 0.064$

3. $(es - ea) \rightarrow (1.795 - 1.427) = 0.368$

$es = T^{\circ} = 15.8^{\circ}\text{C}$ y cuadro N° 2.3

$$es = 1.795$$

$$ea = 1.795 \times \frac{79.5}{100} = 1.427$$

4. $Rn = Rns - Rnl$

4.1 $Rns = 0.77 R_s = 0.77 \times 9.458 = 7.283$

$$R_s = (0.25 + 0.50 n/N)Ra \rightarrow (0.25 + 0.50 \times 0.178) \times 27.9 = 9.458$$

$$\frac{n}{N} = \frac{2.0}{11.2} = 0.178$$

4.2 $Rnl =$

a. Cálculo de R_s/R_{so}

$$R_{so} = 0.75004 \times 27.9 = 20.926$$

$$\frac{R_s}{R_{so}} = \frac{9.458}{20.926}$$

$$(1.35 \times R_s/R_{so}) - 0.35 \rightarrow (1.35 \times 0.452) - 0.35 = 0.26$$

b. $1.427 = ea$

$$(0.34 - 0.14 \sqrt{1.427}) = 0.173$$

c. $T^\circ = 15.8^\circ C$ cuadro N° 2.8

$$34.19 \text{ MJ m}^2/\text{día}$$

d. $Rnl = 0.26 \times 0.173 \times 34.19 = 1.537$

4.3 $Rns - Rnl \rightarrow 7.283 - 1.537 = 5.746$

5. Determinación de G

$$G = 0.14 (15.8 - 16.0) = 0.028$$

6. $Rn - G = 5.746 - (-0.028) = 5.774$

7. Viento 1.75 m/seg.

$$ET_o = \frac{0.408 \Delta (Rn - G) + \delta \times \frac{900^{(U_2)(es-ea)}}{16 + 273}}{\Delta + \delta (1 + 0.34 \times U_2)}$$

$$ET_o = \frac{0.408 \times 0.115 (5.774) + 0.064 \times \frac{900^{(1.958)(0.46)}}{15.8 + 273}}{0.115 + 0.064 (1 + 0.34 \times 1.75)}$$

$$ET_o = \frac{0.2709 + 0.128}{0.217} = 1.84 \text{ mm/día}$$

MES: AGOSTO

1. $\Delta = T^\circ = 16.6^\circ\text{C}$

$$\Delta = 0.119$$

2. $\delta = 0.064$

3. $(es - ea) \rightarrow (1.889 - 1.443) = 0.446$

$es = \text{con } 16.6^\circ\text{C y cuadro N}^\circ 2.3$

$$es = 1.889$$

$$ea = 1.889 \times \frac{76.4}{100} = 1.443$$

4. $Rn = Rns - Rnl$

4.1 $Rns = 0.77 Rs \rightarrow 0.77 \times 10.141 = 7.81$

$$Rs = \left(0.25 + 0.50 \frac{n}{N}\right) Ra \rightarrow (0.25 + 0.50 \times 0.148) 31.3 = 10.141$$

$$\frac{n}{N} = \frac{1.7}{11.5} = 0.148$$

$$Ra = 31.3$$

4.2 Rnl

a. $\frac{Rs}{Rso} = \frac{10.141}{23.476} = 0.432 \rightarrow (1.35 \times 0.432) - 0.35 = 0.233$

$$Rso = 0.75004 \times 31.3 = 23.476$$

b. $(0.34 - 0.14 \sqrt{1.443}) = 0.172$

c. $T^\circ = 16.6^\circ\text{C}$ cuadro N° 2.8

$$\vartheta TK4 = 34.57$$

d. $0.233 \times 0.172 \times 34.57 = 1.385$

4.3 $Rn = Rns - Rnl \rightarrow 7.81 - 1.385 = 6.425$

5. $G = 0.14 (16.6 - 15.8) = 0.112$

6. $Rn - G = 6.425 - 0.112 = 6.313$

7. *Viento* $\rightarrow 1.83 \text{ m/seg.}$

$$ET_o = \frac{0.408 \Delta (Rn - G) + \delta \times \frac{900^{(U_2)(es-ea)}}{16 + 273}}{\Delta + \delta (1 + 0.34 \times U_2)}$$

$$ET_o = \frac{0.408 \times 0.119 (6.313) + 0.064 \times \frac{900^{(1.83)(0.446)}}{16.6 + 273}}{0.119 + 0.064 (1 + 0.34 \times 1.83)}$$

$$ET_o = \frac{0.306 + 0.162}{0.222} = 2.1 \text{ mm/día}$$

MES: SETIEMBRE

1. $\Delta = T^\circ = 17.5^\circ C$

$$\Delta = 0.126$$

2. $\delta = 0.064$

3. $(es - ea) \rightarrow (2.00 - 1.486) = 0.514$

$es = 17.5^\circ C$ y cuadro N° 2.3

$$es = 2.00$$

$$ea = 2.00 \times \frac{76.3}{100} = 1.486$$

4. Determinación de Rn

$$Rn = Rns - Rnl$$

4.1 Cálculo de Rnl

$$Rns = 0.77 Rs \rightarrow 0.77 \times (11.143) = 8.58$$

$$Rs = \left(0.25 + 0.50 \frac{n}{N}\right) Ra \rightarrow (0.25 + 0.50 \times 0.126) 35.6 = 11.143$$

$$\frac{n}{N} = \frac{1.5}{11.9} = 0.126$$

$$Ra = 35.6$$

4.2 Cálculo de Rnl

$$Rso = 0.75004 \times 35.6 = 26.701$$

$$\text{a. } \frac{R_s}{R_{so}} = \frac{11.143}{26.701} = 0.417$$

$$\left(1.35 \times \frac{R_s}{R_{so}}\right) - 0.35 = (1.35 \times 0.417) - 0.35 = 0.213$$

$$\text{b. } ea = 1.486$$

$$(0.34 - 0.14 \sqrt{1.486}) \rightarrow 0.169$$

$$\text{c. } T^\circ = 17.5^\circ\text{C} \quad \text{cuadro N}^\circ 2.8$$

$$\alpha_{TK4} = 34.99$$

$$R_{nl} = 0.213 \times 0.169 \times 34.99 = 1.26$$

$$\mathbf{4.3} \quad R_n = R_{ns} - R_{nl} = 8.58 - 1.26 = 7.32$$

$$5. \quad G = 0.14 (17.5 - 16.6) = 0.126$$

$$6. \quad R_n - G \rightarrow 7.32 - 0.126 = 7.194$$

$$7. \quad \text{Viento} \rightarrow 1.94 \text{ m/seg.}$$

$$ET_o = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \delta \times \frac{900^{1.94 (0.514)}}{17.5 + 273}}{\Delta + \delta (1 + 0.34 \times 1.94)}$$

$$ET_o = \frac{0.408 \times 0.126 (7.194) + 0.064 \times \frac{900^{(1.94)(0.514)}}{290.5}}{0.126 + 0.064 (1 + 0.34 \times 1.94)}$$

$$ET_o = \frac{0.369 + 0.198}{0.232} = 2.44 \text{ mm/día}$$

MES: OCTUBRE

1. $\Delta = T^\circ = 17.9^\circ\text{C}$

$$\Delta = 0.129$$

2. $\delta = 0.064$

3. $(es - ea) \rightarrow (2.051 - 1.598) = 0.453$

$$es = 2.051$$

$$ea = 2.051 \times \frac{77.9}{100} = 1.598$$

4. Determinación de Rn

$$Rn = Rns - Rnl$$

4.1 Cálculo de Rnl

$$Rns = 0.77 R_s \rightarrow 0.77 \times 13.76 = 10.60$$

$$R_s = \left(0.25 + 0.50 \frac{n}{N}\right) R_a \rightarrow (0.25 + 0.50 \times 0.211) 38.7 = 13.76$$

$$\frac{n}{N} = \frac{2.6}{12.3} = 0.211 \quad \longrightarrow \quad \text{Cuadro N}^\circ 2.7$$

$$R_a = 38.7 \quad \longrightarrow \quad \text{Cuadro N}^\circ 2.6$$

4.2 Cálculo de Rnl

a. $R_s/R_{so} = \frac{13.76}{29.026} = 0.474$

$$R_{so} = 0.75004 \times 38.7 = 29.026$$

$$\left(1.35 \times \frac{R_s}{R_{so}}\right) - 0.35 = (1.35 \times 0.474) - 0.35 = 0.29$$

b. $ea = 1.598$

$$(0.34 - 0.14 \sqrt{1.598}) \rightarrow 0.163$$

c. $\alpha_{TK4} = 35.19$

$$R_{nl} = 0.29 \times 0.163 \times 35.19 = 1.66$$

4.3 $R_n = R_{ns} - R_{nl} \rightarrow 10.60 - 1.66 = 8.94$

5. $G = 0.14 (17.9 - 17.5) = 0.056$

6. $R_n - G = 8.94 - 0.056 = 8.884$

7. *Viento* $\rightarrow 2.04 \text{ m/seg.}$

$$ET_o = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \delta \times \frac{900^{(2.04)^{(0.453)}}}{17.9 + 273}}{\Delta + \delta (1 + 0.34 \times 2.04)}$$

$$ET_o = \frac{0.467 \times 0.183}{0.237} = 2.74 \text{ mm/día}$$

MES: NOVIEMBRE

1. $\Delta = T^\circ = 18.4^\circ\text{C}$

$$\Delta = 0.132$$

2. $\delta = 0.064$

3. $(es - ea) \rightarrow (2.117 - 1.67) \rightarrow 0.447$

$$es = 2.117$$

Con $T^\circ = 18.4^\circ\text{C}$ y Cuadro N° 2.3

$$ea = 2.117 \times \frac{78.9}{100} = 1.67$$

4. Determinación de Rn

$$Rn = Rns - Rnl$$

4.1 Cálculo de Rnl

$$Rns = 0.77 Rs \rightarrow 0.77 \times 14.00 = 10.78$$

$$Rs = (0.25 + 0.50 \times n/N) Ra \rightarrow (0.25 + 0.50 \times 0.197) 40.2 = 14.00$$

$$\frac{n}{N} = \frac{2.5}{12.7} = 0.197$$

$$Ra = 40.2 \rightarrow \text{Cuadro N° 2.6}$$

4.2 Cálculo de Rnl

a. Cálculo de $\left(1.35 \times \frac{Rs}{Rso}\right) - 0.35 \rightarrow (1.35 \times 0.464) - 0.35 = 0.276$

$$\frac{Rs}{Rso} = \frac{14}{0.75004 \times 40.2} = \frac{14}{30.151} = 0.464$$

b. Cálculo de $(0.34 - 0.14 \sqrt{1.67}) \rightarrow 0.16$

c. $\alpha TK4 = \text{Con cuadro N}^\circ 2.8 \text{ y } T^\circ = 18.4 \text{ }^\circ\text{C}$

$$\alpha TK4 = 35.43$$

$$Rnl = 0.464 \times 0.16 \times 35.43 = 2.63$$

4.3 $Rn = Rns - Rnl = 10.78 - 2.63 = 8.15$

5. $G = 0.14 (18.4 - 17.9) = 0.07$

6. $Rn - G = 8.15 - 0.07 = 8.08$

7. $Viento = 1.62 \text{ m/seg.}$

$$ET_o = \frac{0.408 \Delta (Rn - G) + \delta \times \frac{900^{(1.62)(0.447)}}{18.4 + 273}}{\Delta + \delta (1 + 0.34 \times 1.62)}$$

$$ET_o = \frac{0.408 \times 0.132 \times 8.08 + 0.064 \times \frac{900^{(1.62)0.447}}{291.4}}{0.132 + 0.064 (1 + 0.34 \times 1.62)} = 2.74 \text{ mm/día}$$

$$ET_o = \frac{0.435 + 0.143}{0.231} = 2.5 \text{ mm/día}$$

MES: DICIEMBRE

1. $\Delta = T^\circ = 20^\circ C$

$$\Delta = 0.145$$

2. $\delta = 0.064$

3. $(e_s - e_a) \rightarrow 2.338 - 1.90 = 0.438$

$$e_s = 2.338$$

$$e_a = 2.338 \times \frac{81.3}{100} = 1.90$$

4. Cálculo de $R_n = R_{ns} - R_{nl}$

4.1 R_{ns}

$$R_{ns} = 0.77 R_s \rightarrow 0.77 \times 18.229 = 14.036$$

$$R_s = (0.25 + 0.50 \times n/N) R_a \rightarrow (0.25 + 0.50 \times 0.398) 40.6 = 18.229$$

$$R_a = 40.2$$

$$\frac{n}{N} = \frac{5.1}{12.8} = 0.398$$

4.2 R_{nl}

a. $(1.35 \times R_s/R_{so}) - 0.35 \rightarrow (1.35 \times 0.598) - 0.35 = 0.457$

$$\frac{R_s}{R_{so}} = \frac{18.229}{0.75004 \times 40.6} \rightarrow \frac{18.229}{30.45} = 0.598$$

b. Cálculo de término

$$(0.34 - 0.14 \sqrt{1.90}) \rightarrow 0.147$$

c. $T^{\circ} = 20^{\circ}\text{C}$

$$\alpha TK4 = 36.21$$

$$Rnl = 0.457 \times 0.147 \times 36.21 = 2.43$$

4.3 $Rn = Rns - Rnl = 14.036 - 2.43 \rightarrow 11.606$

5. $G = 0.14 (20 - 18.4) = 0.224$

6. $Rn - G \rightarrow 11.606 - 0.224 = 11.382$

7. $Viento = 1.6 \text{ m/seg.}$

$$ET_o = \frac{0.408 \Delta (Rn - G) + \delta x \frac{900^{(1.6)(0.438)}}{20 + 273}}{\Delta + \delta (1 + 0.34 \times 1.6)}$$

$$ET_o = \frac{0.408 \times 0.145 (11.382) + 0.064 \times \frac{900^{(1.6)(0.438)}}{293}}{0.145 + 0.064 (1 + 0.34 \times 1.6)}$$

$$ET_o = \frac{0.673 + 0.138}{0.244} = 3.32 \text{ mm/día}$$

MES: ENERO

1. $\Delta = T^{\circ} = 23.1^{\circ}\text{C}$

$$\Delta = 0.171$$

2. $\delta = 0.064$

3. $(es - ea) \rightarrow 2.826 - 2.14 = 0.686$

$$es = 2.826$$

$$ea = 2.826 \times \frac{75.7}{100} = 2.14$$

4. Determinación de Rn

4.1 Rn = Rns - Rnl

$$Rns = 0.77 R_s \rightarrow 0.77 (20.848) = 16.053$$

$$R_s = (0.25 + 0.50 \times n/N) R_a \rightarrow (0.25 + 0.50 \times 0.527) 40.6 = 20.848$$

$$\frac{n}{N} = \frac{6.7}{12.7} = 0.527$$

$$R_a = 40.6$$

4.2 Determinación Rnl

a. $(1.35 \times R_s/R_{so}) - 0.35 \rightarrow (1.35 \times 0.685) - 0.35 = 0.574$

$$\frac{R_s}{R_{so}} = \frac{20.848}{0.75004 \times 40.6} \rightarrow \frac{20.848}{30.451} = 0.685$$

b. Cálculo de término

$$(0.34 - 0.14 \sqrt{2.14}) \rightarrow 0.135$$

c. Determinación de $\alpha TK4$

$$T^{\circ} = 23.1 \quad \text{y cuadro 2.8}$$

$$\alpha TK4 = 37.77$$

$$Rnl = 0.574 \times 0.135 \times 37.77 = 2.927$$

$$4.3 \quad Rn = 16.053 - 2.927 = 13.126$$

5. Determinación de $G = 0.14 (23.1 - 20.0)$

$$G = 0.434$$

$$6. \quad Rn - G = 13.126 - 0.434 = 12.692$$

7. *Velocidad Viento* = 1.60 m/seg.

$$ET_o = \frac{0.408 \Delta (Rn - G) + \delta \times \frac{900^{(1.6)} (0.686)}{23.1 + 273}}{\Delta + \delta (1 + 0.34 \times 1.6)}$$

$$ET_o = \frac{0.408 \times 0.171 (12.692) + 0.213}{0.171 + 0.064 (1 + 0.34 \times 1.6)}$$

$$ET_o = \frac{0.885 + 0.213}{0.2698} = 4.07 \text{ mm/día}$$

MES: FEBRERO

1. $\Delta = T^\circ = 24.2^\circ\text{C}$ y Cuadro N° 2.4
 $\Delta = 0.181$

2. $\delta = 0.064$

3. $(e_s - e_a) \rightarrow (3.020 - 2.235 = 0.785$

$$e_s = 3.020$$

$$e_a = 3.020 \times \frac{74.0}{100} = 2.235$$

4. Determinación de Rn

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

4.1 Cálculo de Rnl

$$R_{ns} = 0.77 R_s \rightarrow 0.77 \times 11.85 = 9.125$$

$$R_s = (0.25 + 0.50 \times n/N) R_a \rightarrow (0.25 + 0.50 \times 0.097) 39.7 = 11.85$$

$$\frac{n}{N} = \frac{1.20}{12.4} = 0.097$$

$$R_a = 39.7$$

4.2 Cálculo de Rnl

a. $(1.35 \times R_s/R_{so}) - 0.35 \rightarrow (1.35 \times 0.398) - 0.35 = 0.187$

$$\frac{R_s}{R_{so}} = \frac{11.85}{0.75004 \times 39.7} \rightarrow \frac{11.85}{29.776} = 0.398$$

b. $(0.34 - 0.14\sqrt{2.235}) \rightarrow 0.13$

c. $\alpha TK4 = \text{com } T^\circ = 24.2^\circ C \text{ y cuadro N}^\circ 2.8$

$$\alpha TK4 = 38.33 \longrightarrow Rnl = 0.187 \times 0.13 \times 38.33 = 0.931$$

4.3 $Rn = 9.125 - 0.931 = 8.194$

5. Determinación de $G = 0.14 (24.2 - 23.1) = 0.154$

6. $Rn - G = 8.194 - 0.154 \rightarrow 8.04$

7. $Viento = 1.20 \text{ m/seg.}$

$$ET_o = \frac{0.408 \Delta (Rn - G) + 0.064 \times \frac{900^{(1.20)(0.785)}}{24.2 + 273}}{\Delta + \delta (1 + 0.34 \times 1.6)}$$

$$ET_o = \frac{0.408 \times 0.181 \times 8.04 + 0.064 \times \frac{900^{(1.20)(0.785)}}{297.2}}{0.181 + 0.064 (1 + 0.34 \times 1.20)}$$

$$ET_o = \frac{0.594 + 0.183}{0.271} = 2.87 \text{ mm/día}$$

TABLA N° 05

**VALORES DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO DE REFERENCIA
(ET_o) EN LA ZONA BAJA DEL VALLE DE ICA.**

Mes	Evapotranspiración del Cultivo de Referencia (ET_o) mm/día	Etapas de Desarrollo
Junio	1.73	Inicial
Julio	1.84	Inicial
Agosto	2.10	Desarrollo
Setiembre	2.44	Desarrollo
Octubre	2.74	Medianos
Noviembre	2.50	Medianos
Diciembre	3.32	Final
Enero	4.07	Final
Febrero	2.87	Final

TABLA N° 06**VALORES DEL COEFICIENTE DEL CULTIVO (Kc) DE GRANADO**

Mes	Coefficiente del Cultivo (Kc)	Etapas de Desarrollo
Junio	0.60	Inicial
Julio	0.60	Inicial
Agosto	0.75	Desarrollo
Setiembre	0.75	Desarrollo
Octubre	0.85	Medianos
Noviembre	0.85	Medianos
Diciembre	0.75	Final
Enero	0.75	Final
Febrero	0.75	Final

TABLA N° 07**VALORES DEL USO CONSUNTIVO DEL CULTIVO DE GRANADO EN LA ZONA
BAJA DEL VALLE DE ICA**

Mes	Uso Consuntivo (mm/día)	Uso Consuntivo (m³/ha/día)	Uso Consuntivo (m³/ha/mes)
Junio	1.04	10.40	312.00
Julio	1.10	11.00	341.00
Agosto	1.58	15.80	489.80
Setiembre	1.83	18.30	249.00
Octubre	2.33	23.30	722.30
Noviembre	2.13	21.30	639.00
Diciembre	2.50	25.00	775.00
Enero	3.05	30.50	945.50
Febrero	2.15	21.50	602.00
USO CONSUNTIVO TOTAL			5,375.30

3.3 GRÁFICOS DE LOS VALORES DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO DE REFERENCIA (ET_0) DEL CULTIVO DE GRANADO.

GRÁFICO N° 01

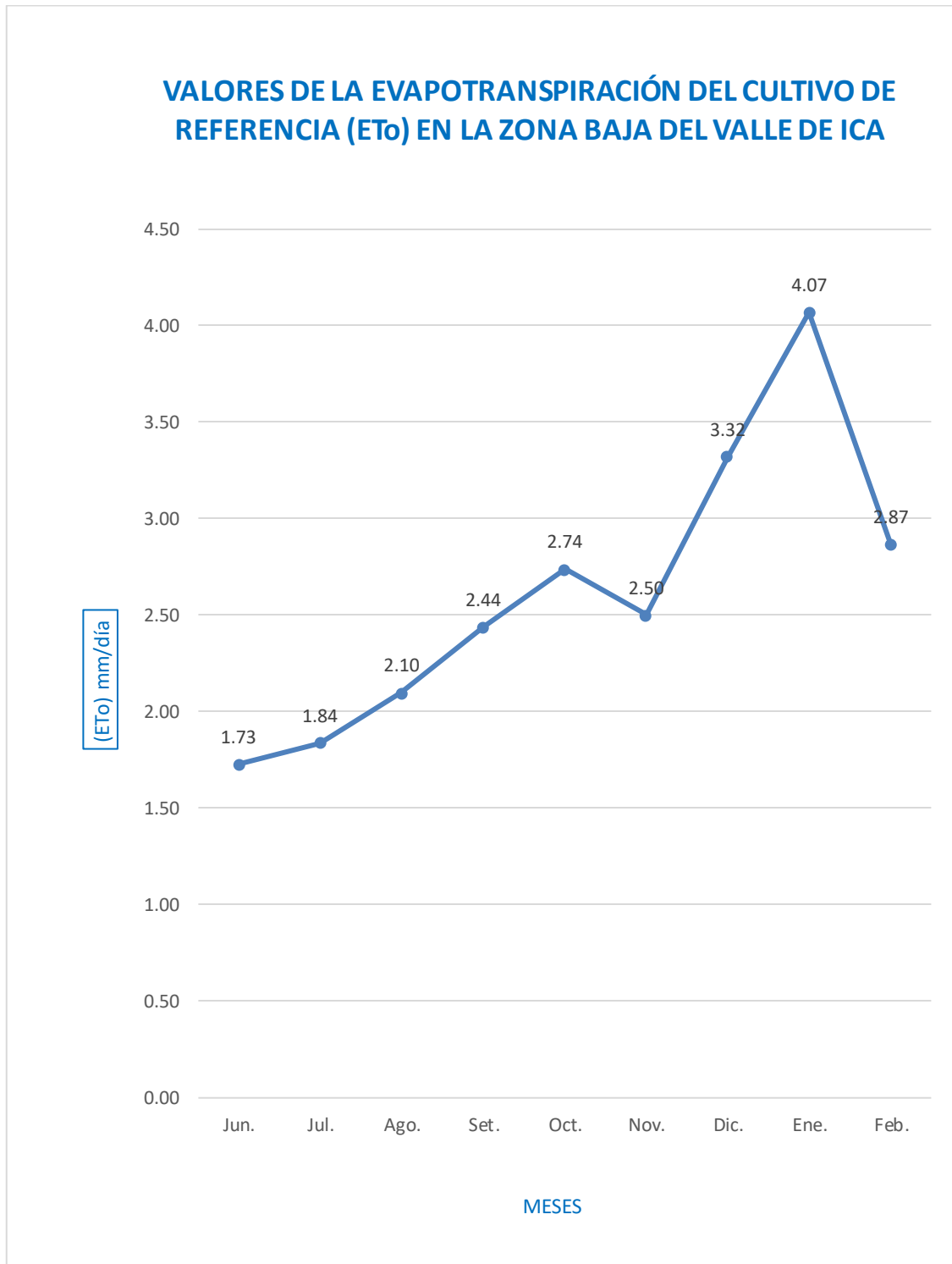
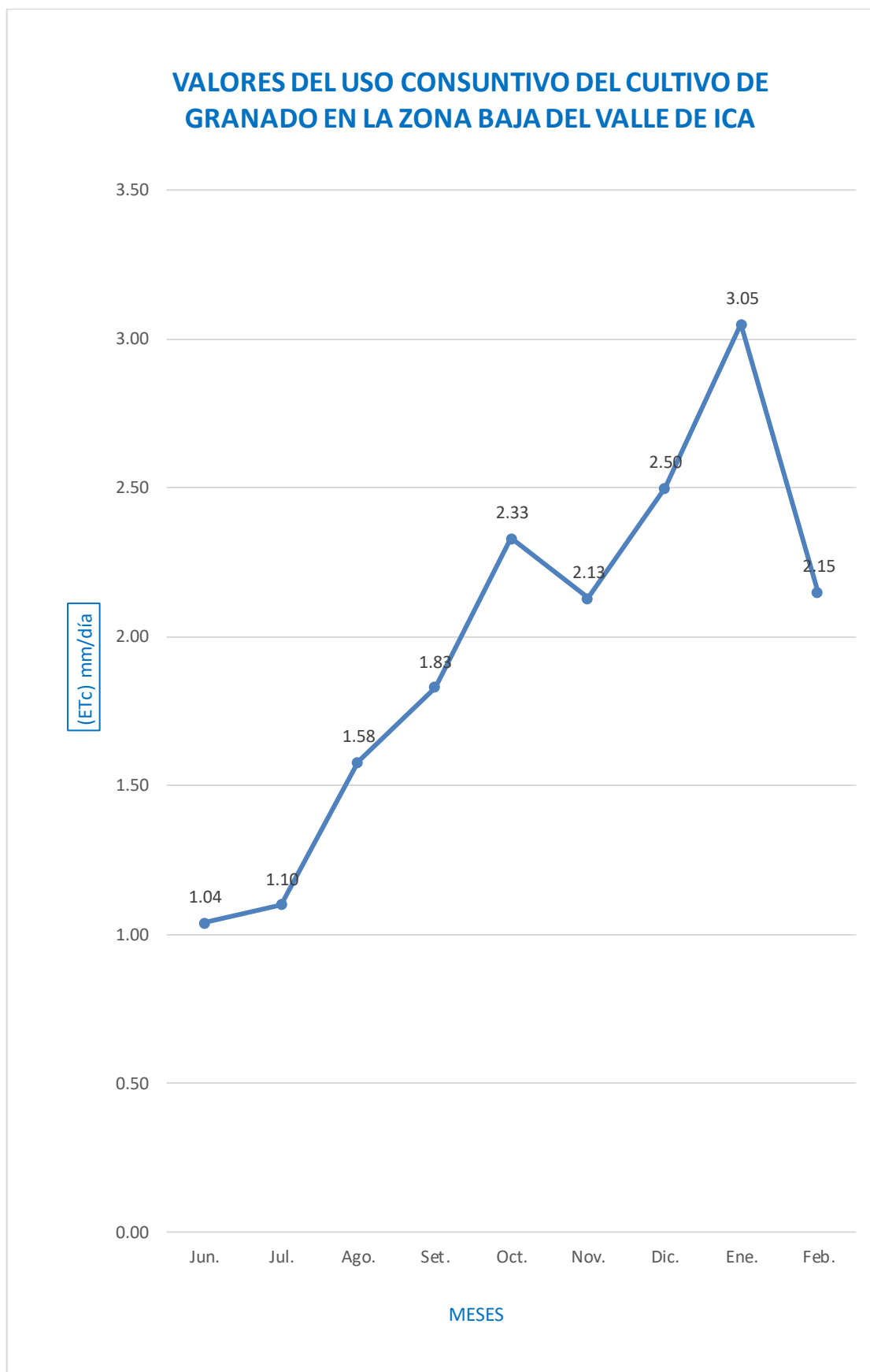


GRÁFICO N° 02



IV. DISCUSIÓN DE RESULTADO

De los los resultados obtenidos están coincidiendo con los obtenidos por Jordan L. y Tipismana C. (2017), en las cuales se han presentado los valores más bajos de evapotranspiración de los cultivos en los meses de junio y julio con más alto correspondiente al mes de enero con un valor de 3.05 mm/día.

4.1 ANÁLISIS DE SUELOS

Del resultado del análisis físico mecánico, muestran que el suelo presenta una textura franco arenoso, de buena fertilidad física para el desarrollo de todos los cultivos, en este caso del cultivo de granado con buena aireación, buena retención de humedad y una buena permeabilidad lo que permite eliminar el exceso de agua que podría perjudicar el desarrollo del cultivo de granado.

Así mismo los resultados del análisis químico muestran que este contiene un bajo porcentaje de materia orgánica, así mismo de un bajo contenido de nitrógeno total, habiéndose aplicado en la fertilización materia orgánica para controlar estas deficiencias.

El contenido de fosforo disponible es bajo por lo que se aplicó también una cantidad teniendo en cuenta este valor, el contenido de potasio disponible es alto, pero en la fertilización también se aplicó este elemento químico de mucha importancia para el desarrollo del cultivo de granado, el contenido de carbonato de calcio es bajo, pero la conductividad eléctrica es altamente salina, pero que no afecta el desarrollo del cultivo de granado, por ser un cultivo resistente a la salinidad del suelo.

El pH es ligeramente alcalino, pero sin mucho efecto negativo en la asimilación de los nutrientes por el cultivo de granado.

La capacidad de intercambio catiónica (CIC) es normal, pero con la aplicación de la materia orgánica se ha incrementado esta propiedad química.

4.2 RIEGOS

El sistema de riego que permite la aplicación del agua al cultivo de granado es por gravedad, por lo que hay pérdidas de agua en la conducción y la eficiencia de aplicación no es muy alta, por lo que para la presente campaña se aplicaron aproximadamente 12,600 m³/ha., todos procedentes de agua subterránea y así permitir un buen desarrollo del cultivo de granado.

Para mejorar la eficiencia del sistema de riego se puede utilizar el sistema de fertirrigación para no permitir mucha pérdida de agua y mejorar la eficiencia en el uso de los fertilizantes.

4.3 FERTILIZACIÓN

La fórmula utilizada permitió un buen desarrollo del cultivo de granado, con plantas rigurosas y un buen desarrollo de la copa así como de los productos y una buena calidad.

4.4 USO CONSUNTIVO DEL CULTIVO DE GRANADO

- **Variables Meteorológicas.**

Los valores de las variables meteorológicas tienen un efecto directo en el uso consuntivo del cultivo de granado, pues permite determinar la demanda hídrica atmosférica de la zona baja del valle de Ica.

Las variables que se han utilizado para el cálculo del uso consuntivo del cultivo de granado son: temperatura media, velocidad del viento, horas de sol, humedad relativa media, por lo que utilizando la ecuación de Penman Monteith, permitió obtener la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o).

- **Coefficientes del cultivo (K_c) del granado.**

Para obtener estos valores se utilizó información de la F.A.O y de información del cultivo de granado instalados en la zona baja del valle, valores que nos han permitido, conjuntamente con la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o), el cálculo del uso consuntivo del cultivo de granado, especialmente para la zona de la Venta – Ica.

De los valores de la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o) el menor valor se presenta en el mes de junio, justamente en el inicio de las labores culturales que se realizan en el cultivo de granado y el valor más alto se presenta en el mes de enero, conduciendo con la etapa final de desarrollo del cultivo en la cual el fruto se encuentra en la etapa de maduración.

Así mismo de los resultados de los valores de uso consuntivo del cultivo de granado se puede observar que el menor valor se presenta en el mes de junio con 312.0 m³/ha. y el valor del uso consuntivo mayor se presenta en el mes de enero que corresponde a la etapa de maduración del fruto y posteriormente cosecha, con un valor de 945.50 m³/ha., obteniendo un valor final del uso consuntivo por las campañas del cultivo de granado para las condiciones de la zona de La Venta de 5, 375.3 m³/ha.

V. CONCLUSIONES

En el presente trabajo de investigación Efecto de las variables meteorológicas en el uso consuntivo del cultivo de granado (*Púnica granatum L.*) variedad wonderful en la zona baja del valle de Ica”, se puede concluir que se cumplieron los objetivos planteados en el proyecto pues se determinó el efecto que tienen las variables meteorológicas que se presentaron en la zona baja del valle de Ica, específicamente de la zona de Santa Dominguita en el uso consuntivo del cultivo de granado y en función de las etapas de desarrollo del cultivo de granado.

Utilizando la ecuación de Penman – Monteith como único método recomendado por la F. A. O, se logró determinar la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o) mes a mes en cada etapa de desarrollo del cultivo de granado y con los valores del coeficiente de cultivo establecido por la F. A. O y cultivos de granado de la zona, se determinó el uso consuntivo del cultivo de granado, obteniéndose un valor de 5,375.30 m³/ha por campaña.

VI. RECOMENDACIONES

En función de los resultados obtenidos, se realiza las siguientes recomendaciones:

1. Continuar con las investigaciones para determinar el uso consuntivo del cultivo de granado en la zona baja del valle de Ica y en otra zona del valle por ser un cultivo de mucha importancia para los agricultores de esta zona.
2. Continuar con investigaciones para determinar el uso consuntivo en otros cultivos por ser la zona del valle de Ica, deficitaria en la disponibilidad del recurso hídrico.
3. Realizar investigaciones en otras áreas del manejo agronómico del cultivo de granado como son manejo de la fertilización, control de plagas y enfermedades, control de la contaminación en suelo agrícola y los cultivos.
4. Promover estas investigaciones entre los agricultores de la zona baja y de otras zonas que se dedican a la producción del cultivo de granado, como un apoyo en el manejo agronómico en el cultivo de granado en la zona de Santa Dominguita – Ica.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Calderón E. (1999).** “*Fruticultura General*” Editorial Limusa S. A México. Pág. 763.
- F. A. O. (2006).** “*Evapotranspiración del cultivo, Guía para la determinación de los requerimientos del agua de las plantas cultivadas*”. Roma Pág. 300.
- INIA (2012).** “*El cultivo de palto*”. Boletín Instituto Nacional de Innovación Agraria. Pág. 50.
- INFOAGRO (2019).** “*Fruticultura Subtropical, el cultivo de la Breva*”.
- JUSCAFRESA B. (1978).** “*Árboles frutales cultivo y explotación comercial*”, Editorial Aedos Barcelona – España.
- Kennard W. (1973).** “*Frutas y Nueces para el Trópico*”. Editorial Limusa Wiley S.A Puerto Rico.
- Moya I. (1994).** “*Riego Localizado y Fertirrigación*”. Primera Edición Mundi – Prensa. España. Pág. 457.
- Salcedo A. y Salazar H. (2018).** “*Determinación del ritmo de absorción de macro y micro nutrientes en el cultivo de palto (Persea americana Mill) variedad Has conducidos bajo sistema de fertirrigación en la zona alta del valle de Ica*”. Tesis Ingeniero Agrónomo – UNICA.

VIII. ANEXO

8.1 Matriz De Consistencia

	PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLE	POBLACIÓN, MUESTRA
<p style="text-align: center;">Efecto de las variables meteorológicas en el uso consuntivo del cultivo de granado (<i>Púnica granatum L.</i>) variedad wonderful en la zona baja del valle de Ica.</p>	<p>Problema general ¿Se podrá realizar un manejo eficiente del curso hídrico en el cultivo de granado, mediante la determinación del uso consuntivo para las condiciones de la zona baja del Valle de Ica?</p>	<p>Objetivo general. Determinar el efecto de las variables meteorológicas con el uso consuntivo del cultivo de granado, variedad wonderful y mejorar el uso del agua de riego para las condiciones de la zona baja del valle de Ica.</p>	<p>Hipótesis general. Mediante el efecto de las variables meteorológicas se podrá determinar el uso consuntivo del cultivo de granado para las condiciones de la zona baja del valle de Ica.</p>	<p>Variable independiente - Humedad relativa - Horas del sol - Velocidad del viento - Temperatura media - Coeficiente del cultivo kc.</p>	<p>Población de estudio. La población de estudio viene a ser el cultivo de granado instalado en la parcela de estudio de aproximadamente 8 hectáreas, ubicada en la parte baja del valle de Ica.</p>
	<p>Problema específico Mediante el uso de las variables meteorológicas de la zona baja del Valle de Ica y el coeficiente del cultivo granado, ¿se podrá determinar el uso consuntivo del cultivo para las condiciones de la zona baja del Valle de Ica?</p>	<p>Objetivo específico. Mediante el efecto de las variables meteorológicas se podrá determinar el uso consuntivo del cultivo de granado en función de las etapas de desarrollo del cultivo a lo largo de una campaña agrícola y mejorar la eficiencia del uso del agua de riego para las condiciones de la zona de Santa Dominguita – Ica.</p>	<p>Hipótesis específica. Mediante el efecto de las variables meteorológicas se podrá determinar el uso consuntivo del cultivo de granado en función de las etapas de desarrollo del cultivo a lo largo de una campaña agrícola y mejorar la eficiencia del uso del agua de riego para las condiciones de la zona de Santa Dominguita – Ica.</p>	<p>Variables dependientes - Uso consuntivo del cultivo de granado</p>	<p>Muestra de estudio La muestra de estudio en el presente trabajo de investigación lo constituye cada una de las planas instaladas en la parcela de aproximadamente 8 hectáreas de cultivo de granado y que constituye la población de estudio, instaladas en la zona baja del valle de Ica. La población y la muestra de estudio viene a ser la misma porque las variables meteorológicas influyen sobre todas las plantas de granado instalados en la parcela.</p>

8.2 IMÁGENES DE CAMPO





8.3 CUADROS METEOROLÓGICOS

A2.1 Presión atmosférica (P) para diferentes elevaciones sobre el nivel del mar (z) A2.2 Constante

psicométrica (γ) para diferentes elevaciones sobre el nivel del mar (z) A2.3 Presión de saturación de vapor (e° (T)) para diferentes temperaturas (T)

A2.4 Curva de la pendiente de presión de vapor (Δ) para diferentes temperaturas (T)

A2.5 Número de día en el año (J)

A2.6 Radiación extraterrestre diaria (R_a) para diferentes latitudes

A2.7 Duración media de la insolación máxima en horas (N) para diferentes latitudes

A2.8 σ_{TK4} (ley de Stefan-Boltzman) para convertir velocidades viento medida a una altura dada.

A2.9 Factores de conversión para convertir velocidad del viento medida a una altura dada a velocidad del viento a la elevación del viento estándar de 2m sobre la superficie del suelo

CUADRO A2.1

Presión atmosférica (P) para diferentes altitudes (Z).

$$P = 101,3 \left(\frac{293 - 0,0065Z}{293} \right)^{5,26} \quad (\text{Ec. 7})$$

z (m)	P (KPa)	z (m)	P (KPa)	z (m)	P (KPa)	z (m)	P (KPa)
0	101,3	1000	90,0	2000	79,8	3000	70,5
50	101,7	1050	89,5	2050	79,3	3050	70,1
100	100,1	1100	89,0	2100	78,8	3100	69,6
150	99,5	1150	88,4	2150	78,3	3150	69,2
200	99,0	1200	87,9	2200	77,9	3200	68,8
250	98,4	1250	87,4	2250	77,4	3250	68,3
300	97,8	1300	86,8	2300	76,9	3300	67,9
350	97,2	1350	86,3	2350	76,4	3350	67,5
400	96,7	1400	85,8	2400	76,0	3400	67,1
450	96,1	1450	85,3	2450	75,5	3450	66,6
500	95,5	1500	84,8	2500	75,0	3500	66,2
550	95,0	1550	84,3	2550	74,6	3550	65,8
600	94,4	1600	83,8	2600	74,1	3600	65,4
650	93,8	1650	83,3	2650	73,7	3650	65,0
700	93,3	1700	82,8	2700	73,2	3700	64,6
750	92,7	1750	82,3	2750	72,7	3750	64,1
800	92,2	1800	81,8	2800	72,3	3800	63,7
850	91,6	1850	81,3	2850	71,8	3850	63,3
900	91,1	1900	80,8	2900	71,4	3900	62,9
950	90,6	1950	80,3	2950	71,0	3950	62,5
1000	90,0	2000	79,8	3000	70,5	4000	62,1

CUADRO A2.2

Constante psicométrica (Y) para diferentes altitudes (Z).

$$Y = \frac{c p^P = 0,665^*}{\varepsilon \lambda} 10^{-2} \quad (\text{Ec. 8})$$

z (m)	Y Kpa°	z (m)	Y Kpa /°C	z (m)	Y Kpa /°C	z (m)	Y Kpa /°C
0	0,067	1000	0,060	2000	0,053	3000	0,047
100	0,067	1100	0,059	2100	0,052	3100	0,046
200	0,66	1200	0,058	2200	0,052	3200	0,046
300	0,065	1300	0,058	2300	0,51	3300	0,045
400	0,064	1400	0,057	2400	0,051	3400	0,045
500	0,064	1500	0,056	2500	0,050	3500	0,044
600	0,063	1600	0,056	2600	0,049	3600	0,043
700	0,062	1700	0,055	2700	0,049	3700	0,043
800	0,061	1800	0,054	2800	0,048	3800	0,042
900	0,061	1900	0,054	2900	0,047	3900	0,042
1000	0,060	2000	0,053	3000	0,047	4000	0,041

Basada en $\lambda = 2,45 \text{ MJ Kg}^{-1} \text{ a } 20 \text{ } ^\circ\text{C}$

CUADRO A2.3

Presión de saturación de vapor ($e^{\circ}(T)$) para diferentes temperaturas (T).

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

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

CUADRO A2.4

Pendiente de la curva de presión de vapor (Δ) para diferentes temperaturas (T)

Evapotranspiración del cultivo.

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

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

CUADRO A2.5

Número de día en el año (J).

Día	Enero	Febrero	Marzo*	Abril*	Mayo*	Junio*
1	1	32	60	91	121	152
2	2	33	61	92	122	153
3	3	34	62	93	123	154
4	4	35	63	94	124	155
5	5	36	64	95	125	156
6	6	37	65	96	126	157
7	7	38	66	97	127	158
8	8	39	67	98	128	159
9	9	40	68	99	129	160
10	10	41	69	100	130	161
11	11	42	70	101	131	162
12	12	43	71	102	132	163
13	13	44	72	103	133	164
14	14	45	73	104	134	165
15	15	46	74	105	135	166
16	16	47	75	106	136	167
17	17	48	76	107	137	168
18	18	49	77	108	138	169
19	19	50	78	109	139	170
20	20	51	79	110	140	171
21	21	52	80	111	141	172
22	22	53	81	112	142	173
23	23	54	82	113	143	174
24	24	55	83	114	144	175
25	25	56	84	115	145	176
26	26	57	85	116	146	177
27	27	58	86	117	147	178
28	28	59	87	118	148	179
29	29	(60)	88	119	149	180
30	30	-	89	120	150	181
31	31	-	90	-	151	-

*añadir 1 en caso de año bisiesto

J, puede ser determinado para cada día (D) del mes (M) usando

$$J = \text{NUMERO ENTERO} (275 M/9 - 30 + D) - 2$$

$$\text{SI } (M < 3) \quad \text{ENTONCES } J = j + 2$$

$$\text{ó también,} \quad \text{SI (año bisiesto y } (M > 2)) \text{ ENTONCES } J = J + 1$$

Para cálculos de 10 días, use J para día D=5, 15 y 25

Para cálculos mensuales, J en el día 15 del mes viene dado aproximadamente por

$$J = \text{NUMERO ENTERO} (30,4 M - 15).$$

CUADRO A2.5 (Continuación)

Número de día en el año (J)

Día	Julio*	Agosto*	Septiembre*	Octubre*	Noviembre*	Diciembre*
1	182	213	244	274	305	335
2	183	214	245	275	306	336
3	184	215	246	276	307	337
4	185	216	247	277	308	338
5	186	217	248	278	309	339
6	187	218	249	279	310	340
7	188	219	250	280	311	341
8	189	220	251	281	312	342
9	190	221	252	282	313	343
10	191	222	253	283	314	344
12	193	224	255	285	316	346
13	194	225	256	286	317	347
14	195	226	257	287	318	348
15	196	227	258	288	319	349
16	197	228	259	289	320	350
17	198	229	260	290	321	351
18	199	230	261	291	322	352
19	200	231	262	292	323	353
20	201	232	263	293	324	354
21	202	233	264	294	325	355
22	203	234	265	295	326	356
23	204	235	266	296	327	357
24	205	236	267	297	328	358
25	206	237	268	298	329	359
26	207	238	269	299	330	360
27	208	239	270	300	331	361
28	209	240	271	301	332	362
29	210	241	272	302	333	363
30	211	242	273	303	334	364
31	212	243	-	304	-	365

*añadir 1 en caso de año bisiesto

CUADRO A2.6

Radiación extraterrestre diaria (R_a) para diferentes latitudes para el día 15vo. del mes.

$$R_a = \frac{24 \times 60}{\pi} G_{sc} d_r [\omega_s \sin(\varphi) \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cos(\delta) \sin(\omega)] \quad (\text{Ec. 21})$$

(Valor res en M J m-2día-1) 2

Hemisferio Norte												Lat .	Hemisferio Sur											
Enero	Feb ro	Marzo	A bril	Mayo	Junio	Julio	A go st o	Septiemb re	Oct ub re	No viemb re	Diciemb re	Grad .	Enero	Feb ro	Marzo	A bril	Mayo	Junio	Julio	A gost o	Septiemb re	Oct ub re	No viemb re	Diciemb re
0,0	2,6	10,4	23,0	35,2	42,5	39,4	28,0	14,9	4,9	0,1	0,0	70	41,4	28,6	5,8	4,9	0,2	0,0	0,0	2,2	10,7	23,5	37,3	45,3
0,1	3,7	17	23,9	35,3	42,0	38,9	28,6	16,1	6,0	0,7	0,0	68	41,0	29,3	16,9	6,0	0,8	0,0	0,0	3,2	19	24,4	37,4	44,7
0,6	4,8	12,9	24,8	35,6	41,4	38,8	29,3	17,3	7,2	1,5	0,1	66	40,9	30,0	18,1	7,2	1,5	0,1	0,5	4,2	13,1	25,4	37,6	44,1
1,4	5,9	14,1	25,8	35,9	41,2	38,8	30,0	18,4	8,5	2,4	0,6	64	41,0	30,8	19,3	8,4	2,4	0,6	1,2	5,3	14,4	26,3	38,0	43,9
2,3	7,1	5,4	26,6	36,3	41,2	39,0	30,6	19,5	9,7	3,4	1,3	62	41,2	31,5	20,4	9,6	3,4	1,2	2,0	6,4	5,5	27,2	38,3	43,9
3,3	8,3	16,6	27,5	36,6	41,2	39,2	31,3	20,6	10,9	4,4	2,2	60	41,5	32,3	21,5	10,8	4,4	2,0	2,9	7,6	16,7	28,1	38,7	43,9
4,3	9,6	17,7	28,4	37,0	41,3	39,4	32,0	21,7	12,1	5,5	3,1	58	41,7	33,0	22,6	12,0	5,5	2,9	3,9	8,7	19,9	28,9	39,1	44,0
5,4	10,8	18,9	29,2	37,4	41,4	39,6	32,6	22,7	13,3	6,7	4,2	56	42,0	33,7	23,6	13,2	6,6	3,9	4,9	9,9	19,0	29,8	39,5	44,1
6,5	12,0	20,0	30,0	37,8	41,5	39,8	33,2	23,7	14,5	7,8	5,2	54	42,2	34,3	24,6	14,4	7,7	4,9	6,0	11	20,1	30,6	39,9	44,3
7,7	13,2	21,1	30,8	38,2	41,6	40,1	33,8	24,7	15,7	9,0	6,4	52	42,5	35,0	25,6	15,6	8,8	6,0	7,1	12,2	21,2	31,4	40,2	44,4
8,9	14,4	22,2	31,5	38,5	41,7	40,2	34,4	25,7	16,9	10,2	7,5	50	42,7	35,6	26,6	16,7	10,0	7,1	8,2	13,4	22,2	32,1	40,6	44,5
10,1	15,7	23,3	32,2	33,8	41,8	40,4	34,9	26,6	18,1	11,4	8,7	48	42,9	35,2	27,5	17,9	11	8,2	9,3	14,6	23,3	32,8	40,9	44,5
11,3	16,9	24,3	32,9	39,1	41,9	40,6	35,4	27,5	19,2	12,6	9,9	46	43,0	35,7	28,4	19,0	12,3	9,3	10,4	15,7	24,3	33,5	41,1	44,6
12,5	18,0	25,3	33,5	39,3	41,9	40,7	35,9	28,4	20,3	13,9	11	44	43,2	37,2	29,3	20,1	13,5	10,5	11,6	16,8	25,2	34,1	41,4	44,6
13,8	19,2	26,3	34,1	39,5	41,9	40,8	36,3	29,2	21,4	15,1	12,4	42	43,3	37,7	30,1	21,2	14,6	11,6	12,8	17,0	26,2	34,7	41,6	44,6
15,0	20,4	27,2	34,7	39,7	41,9	40,8	36,7	30,0	22,5	16,3	13,6	40	43,4	38,1	30,9	22,3	15,8	12,8	13,9	19,1	27,1	35,3	41,8	44,6
16,2	21,5	28,1	35,2	39,9	41,8	40,8	37,0	30,7	23,6	17,5	14,8	38	43,4	38,5	31,7	23,3	16,9	13,9	15,1	20,2	28,0	35,8	41,9	44,5
17,5	22,6	29,0	35,7	40,0	41,7	40,8	37,4	31,5	24,6	18,7	16,1	36	43,4	38,9	32,4	24,3	18,1	15,1	16,2	21,2	28,8	36,3	42,0	44,4
18,7	23,7	29,9	36,1	40,0	41,6	40,8	37,6	32,1	25,6	19,9	17,3	34	43,4	39,2	33,0	25,3	19,2	16,2	17,4	22,3	29,6	36,7	42,0	44,3
19,9	24,8	30,7	35,5	40,0	41,4	40,7	37,9	32,8	26,6	21,1	18,5	32	43,3	39,4	33,7	26,3	20,3	17,4	18,5	23,3	30,4	37,1	42,0	44,1
21,1	25,8	31,4	36,8	40,0	41,2	40,6	38,0	33,4	27,6	22,2	19,8	30	43,1	39,6	34,3	27,2	21,4	18,5	19,6	24,3	31,1	37,5	42,0	43,9
22,3	26,8	32,2	37,1	40,0	40,9	40,4	38,2	33,9	28,5	23,3	21,0	28	43,0	39,8	34,8	28,1	22,5	19,7	20,7	25,3	31,8	37,8	41,9	43,6
23,4	27,8	32,8	37,4	39,9	40,6	40,2	38,3	34,5	29,3	24,5	22,2	26	42,8	39,9	35,3	29,0	23,5	20,8	21,8	26,3	32,5	38,0	41,8	43,3
24,6	28,8	33,5	37,6	39,7	40,3	39,9	38,3	34,9	30,2	25,5	23,3	24	42,5	40,0	35,8	29,8	24,6	21,9	22,9	27,2	33,1	38,3	41,7	43,0
25,7	29,7	34,1	37,8	39,5	40,0	39,6	38,4	35,4	31,0	26,6	24,5	22	42,2	40,1	36,2	30,6	25,6	23,0	24,0	28,1	33,7	38,4	41,4	42,6
26,8	30,6	34,7	37,9	39,3	39,5	39,3	38,3	35,8	31,8	27,7	25,6	20	41,9	40,0	36,6	31,3	26,6	24,1	25,0	28,9	34,2	38,6	41,2	42,1
27,9	31,5	35,2	38,0	39,0	39,1	38,9	38,2	36,1	32,5	28,7	26,8	18	41,5	40,0	37,0	32,1	27,5	25,1	26,0	29,8	34,7	38,7	40,9	41,7
28,9	32,3	35,7	38,1	38,7	38,6	38,5	38,1	36,4	33,2	29,6	27,9	16	41,1	39,9	37,2	32,8	28,5	26,2	27,0	30,6	35,2	38,7	40,6	41,2
29,9	33,1	36,1	38,1	38,4	38,1	38,1	38,0	36,7	33,9	30,6	28,9	14	40,6	39,7	37,5	33,4	29,4	27,2	27,9	31,3	35,6	38,7	40,2	40,6
30,9	33,8	36,5	38,0	38,0	37,6	37,6	37,8	36,9	34,5	31,5	30,0	12	40,1	39,6	37,7	34,0	30,2	28,9	28,9	32,1	36,0	38,6	39,8	40,0
31,9	34,5	36,9	37,9	37,6	37,0	37,1	37,5	37,1	35,1	32,4	31,0	10	39,5	39,3	38,1	34,6	31,1	29,8	29,8	32,8	36,3	38,5	39,3	39,4
32,8	35,2	37,2	37,8	37,1	36,3	36,5	37,2	37,2	35,6	33,3	32,0	8	38,9	39,0	37,9	35,1	31,9	30,7	30,7	33,4	36,6	38,4	38,8	38,7
33,7	35,8	37,4	37,6	36,6	35,7	35,9	36,9	37,3	36,1	34,1	32,9	6	38,3	38,7	38,0	35,6	32,7	31,5	31,5	34,0	36,8	38,2	38,2	38,0
34,6	36,4	37,6	37,4	36,0	35,0	35,3	36,5	37,3	36,6	34,9	33,9	4	37,6	38,3	38,0	36,0	33,4	32,3	32,3	34,6	37,0	38,0	37,6	37,2
35,4	37,0	37,8	37,1	35,4	34,2	34,6	36,1	37,3	37,0	35,6	34,8	2	36,9	37,9	38,0	36,4	34,1	33,1	33,1	35,2	37,1	37,7	37,0	36,4
36,2	37,5	37,9	36,8	34,8	33,4	33,9	35,7	37,2	37,4	36,3	35,6	0	36,2	37,5	37,9	36,8	34,8	33,9	33,9	35,7	37,2	37,4	36,3	35,6

* Los valores de R_a durante el día 15vo. del mes, proveen una buena estimación (error $< 1\%$) de R_a pro mediada de todos los días del mes. Solamente en caso de latitudes muy elevadas (mayores a $55^\circ N^\circ S$) y durante los meses invernales, las desviaciones podrían ser mayores al 1% .

* Los valores pueden ser convertidos a sus equivalentes en mm días-1 si se dividen por $\lambda = 2,45$.

CUADRO A2.7

Insolación máxima diaria (N) para diferentes latitudes para el día 15^{vo}. del mes.

$$N = \frac{24}{\pi} W_s \tag{Ec. 34}$$

Hemisferio Norte												Lat. Grad.	Hemisferio Sur											
Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre		Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
0,0	6,6	11,0	15,6	21,3	24,0	24,0	17,6	12,8	8,3	2,3	0,0	70	24,0	17,4	13,0	8,4	2,7	0,0	0,0	6,4	11,2	15,7	21,7	24,0
1,1	7,3	11,1	15,3	19,7	24,0	22,3	17,0	12,7	8,7	4,1	0,0	68	21,9	16,7	12,9	8,7	4,3	0,0	1,7	7,0	11,3	15,3	19,9	24,0
3,9	7,8	11,2	14,9	18,7	22,0	20,3	16,4	12,7	9,0	5,2	1,9	66	20,1	16,2	12,8	9,1	5,3	2,0	3,7	7,6	11,3	15,0	18,8	22,1
5,0	8,2	11,2	14,7	17,9	20,3	19,2	16,0	12,6	9,3	6,0	3,7	64	19,0	15,8	12,8	9,3	6,1	3,7	4,8	8,0	11,4	14,7	18,0	20,3
5,7	8,5	11,3	14,4	17,3	19,2	18,4	15,7	12,6	9,5	6,6	4,8	62	18,3	15,5	12,7	9,6	6,7	4,8	5,6	8,3	11,4	14,5	17,4	19,2
6,4	8,8	11,4	14,2	16,8	18,4	17,7	15,3	12,5	9,7	7,1	5,6	60	17,6	15,2	12,6	9,8	7,2	5,6	6,3	8,7	11,5	14,3	16,9	18,4
6,9	9,1	11,4	14,1	16,4	17,8	17,2	15,1	12,5	9,9	7,5	6,2	58	17,1	14,9	12,6	9,9	7,6	6,2	6,8	8,9	11,5	14,1	16,5	17,8
7,3	9,3	11,5	13,9	16,0	17,3	16,8	14,8	12,4	10,1	7,9	6,7	56	16,7	14,7	12,5	10,1	8,0	6,7	7,2	9,2	11,6	13,9	16,1	17,3
7,7	9,5	11,5	13,8	15,7	16,8	16,4	14,6	12,4	10,2	8,2	7,1	54	16,3	14,5	12,5	10,2	8,3	7,2	7,6	9,4	11,6	13,8	15,8	16,9
8,0	9,7	11,5	13,6	15,4	16,5	16,0	14,4	12,4	10,3	8,5	7,5	52	16,0	14,3	12,5	10,4	8,6	7,5	8,0	9,6	11,6	13,7	15,5	16,5
8,3	9,8	11,6	13,5	15,2	16,1	15,7	14,3	12,3	10,4	8,7	7,9	50	15,7	14,2	12,4	10,5	8,8	7,9	8,3	9,7	11,7	13,6	15,3	16,1
8,6	10,0	11,6	13,4	15,0	15,8	15,5	14,1	12,3	10,6	9,0	8,2	48	15,4	14,0	12,4	10,6	9,0	8,2	8,5	9,9	11,7	13,4	15,0	15,8
8,8	10,1	11,6	13,3	14,8	15,5	15,2	14,0	12,3	10,7	9,2	8,5	46	15,2	13,9	12,4	10,7	9,2	8,5	8,8	10,0	11,7	13,3	14,8	15,5
9,1	10,3	11,6	13,2	14,6	15,3	15,0	13,8	12,3	10,7	9,4	8,7	44	14,9	13,7	12,4	10,8	9,4	8,7	9,0	10,2	11,7	13,3	14,6	15,3
9,3	10,4	11,7	13,2	14,4	15,0	14,8	13,7	12,3	10,8	9,6	9,0	42	14,7	13,6	12,3	10,8	9,6	9,0	9,2	10,3	11,7	13,2	14,4	15,0
9,5	10,5	11,7	13,1	14,2	14,8	14,6	13,6	12,2	10,9	9,7	9,2	40	14,5	13,5	12,3	10,9	9,8	9,2	9,4	10,4	11,8	13,1	14,3	14,8
9,6	10,6	11,7	13,0	14,1	14,6	14,4	13,5	12,2	11,0	9,9	9,4	38	14,4	13,4	12,3	11,0	9,9	9,4	9,6	10,5	11,8	13,0	14,1	14,6
9,8	10,7	11,7	12,9	13,9	14,4	14,2	13,4	12,2	11,1	10,1	9,6	36	14,2	13,3	12,3	11,1	10,1	9,6	9,8	10,6	11,8	12,9	13,9	14,4
10,0	10,8	11,8	12,9	13,8	14,3	14,1	13,3	12,2	11,1	10,2	9,7	34	14,0	13,2	12,2	11,1	10,2	9,7	9,9	10,7	11,8	12,9	13,8	14,3
10,1	10,9	11,8	12,8	13,6	14,1	13,9	13,2	12,2	11,2	10,3	9,9	32	13,9	13,1	12,2	11,2	10,4	9,9	10,1	10,8	11,8	12,8	13,7	14,1
10,3	11,0	11,8	12,7	13,5	13,9	13,8	13,1	12,2	11,3	10,5	10,1	30	13,7	13,0	12,2	11,3	10,5	10,1	10,2	10,9	11,8	12,7	13,5	13,9
10,4	11,0	11,8	12,7	13,4	13,8	13,6	13,0	12,2	11,3	10,6	10,2	28	13,6	13,0	12,2	11,3	10,6	10,2	10,4	11,0	11,8	12,7	13,4	13,8
10,5	11,1	11,8	12,6	13,3	13,6	13,5	12,9	12,1	11,4	10,7	10,4	26	13,5	12,9	12,2	11,4	10,7	10,4	10,5	11,1	11,9	12,6	13,3	13,6
10,7	11,2	11,8	12,6	13,2	13,5	13,3	12,8	12,1	11,4	10,8	10,5	24	13,3	12,8	12,2	11,4	10,8	10,5	10,7	11,2	11,9	12,6	13,2	13,5
10,8	11,3	11,9	12,5	13,1	13,3	13,2	12,8	12,1	11,5	10,9	10,7	22	13,2	12,7	12,1	11,5	10,9	10,7	10,8	11,2	11,9	12,5	13,1	13,3
10,9	11,3	11,9	12,5	12,9	13,2	13,1	12,7	12,1	11,5	11,0	10,8	20	13,1	12,7	12,1	11,5	11,1	10,8	10,9	11,3	11,9	12,5	13,0	13,2
11,0	11,4	11,9	12,4	12,8	13,1	13,0	12,6	12,1	11,6	11,1	10,9	18	13,0	12,6	12,1	11,6	11,2	10,9	11,0	11,4	11,9	12,4	12,9	13,1
11,1	11,5	11,9	12,4	12,7	12,9	12,9	12,5	12,1	11,6	11,2	11,1	16	12,9	12,5	12,1	11,6	11,3	11,1	11,1	11,5	11,9	12,4	12,8	12,9
11,3	11,6	11,9	12,3	12,6	12,8	12,8	12,5	12,1	11,7	11,3	11,2	14	12,7	12,4	12,1	11,7	11,4	11,2	11,2	11,5	11,9	12,3	12,7	12,8
11,4	11,6	11,9	12,3	12,6	12,7	12,6	12,4	12,1	11,7	11,4	11,3	12	12,6	12,4	12,1	11,7	11,4	11,3	11,4	11,6	11,9	12,3	12,6	12,7
11,5	11,7	11,9	12,2	12,5	12,6	12,5	12,3	12,1	11,8	11,5	11,4	10	12,5	12,3	12,1	11,8	11,5	11,4	11,5	11,7	11,9	12,2	12,5	12,6
11,6	11,7	11,9	12,2	12,4	12,5	12,4	12,3	12,0	11,8	11,6	11,5	8	12,4	12,3	12,1	11,8	11,6	11,5	11,6	11,7	12,0	12,2	12,4	12,5
11,7	11,8	12,0	12,1	12,3	12,3	12,3	12,2	12,0	11,9	11,7	11,7	6	12,3	12,2	12,0	11,9	11,7	11,7	11,7	11,8	12,0	12,1	12,3	12,3
11,8	11,9	12,0	12,1	12,2	12,2	12,2	12,1	12,0	11,9	11,8	11,8	4	12,2	12,1	12,0	11,9	11,8	11,8	11,8	11,9	12,0	12,1	12,2	12,2
11,9	11,9	12,0	12,0	12,1	12,1	12,1	12,1	12,0	12,0	11,9	11,9	2	12,1	12,1	12,0	12,0	11,9	11,9	11,9	12,0	12,0	12,1	12,1	12,1
12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0

* Los valores de N duran te el día 15avo d el mes, proveen u n a buena estimación (error < 1%) de N promediada sobre todos los días del mes. Solamente en casos de latitudes m u y elevadas (mayores a 55° N o S) y durante los meses invernales, las desviación es podrían ser mayores al 1%

CUADRO A2.8

σ TK4 (de acuerdo a la ley de Stefan-Boltzmann) para diferentes temperaturas (T)

Con $\sigma = 4,903 \cdot 10^{-9} \text{ MJ K}^{-4} \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$					
y $T_K = T[^\circ\text{C}] + 273,16$					
T (°C)	σ TK^4 (MJ $\text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$)	T (°C)	σ TK^4 (MJ $\text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$)	T (°C)	σ TK^4 (MJ $\text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$)
1,0	27,70	17,0	34,75	33,0	43,08
1,5	27,90	17,5	34,99	33,5	43,36
2,0	28,11	18,0	35,24	34,0	43,64
2,5	28,31	18,5	35,48	34,5	43,93
3,0	28,52	19,0	35,72	35,0	44,21
3,5	28,72	19,5	35,97	35,5	44,50
4,0	28,93	20,0	36,21	36,0	44,79
4,5	29,14	20,5	36,46	36,5	45,08
5,0	29,35	21,0	36,71	37,0	45,37
5,5	29,56	21,5	36,96	37,5	45,67
6,0	29,78	22,0	37,21	38,0	45,96
6,5	29,99	22,5	37,47	38,5	46,26
7,0	30,21	23,0	37,72	39,0	46,56
7,5	30,42	23,5	37,98	39,5	46,85
8,0	30,64	24,0	38,23	40,0	47,15
8,5	30,86	24,5	38,49	40,5	47,46
9,0	31,08	25,0	38,75	41,0	47,76
9,5	31,30	25,5	39,01	41,5	48,06
10,0	31,52	26,0	39,27	42,0	48,37
10,5	31,74	26,5	39,53	42,5	48,68
11,0	31,97	27,0	39,80	43,0	48,99
11,5	32,19	27,5	40,06	43,5	49,30
12,0	32,42	28,0	40,33	44,0	49,61
.....				
12,5	32,65	28,5	40,60	44,5	49,92
13,0	32,88	29,0	40,87	45,0	50,24
13,5	33,11	29,5	41,14	45,5	50,56
14,0	33,34	30,0	41,41	46,0	50,87
14,5	33,57	30,5	41,69	46,5	51,19
15,0	33,81	31,0	41,96	47,0	51,51
15,5	34,04	31,5	42,24	47,5	51,84
16,0	34,28	32,0	42,52	48,0	52,16
16,5	34,52	32,5	42,80	48,5	52,49