

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

T. 2992

EVALUACIÓN DE MÉTODOS PARA ESTIMAR LA
EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL (ETP)
EN LA REGIÓN SUR DEL URUGUAY

por

Pamela ACOSTA ETCHEBARNE

Sandra Mariela ALMIRÓN SASTRE

FACULTAD DE AGRONOMÍA

BIBLIOTECA

TESIS presentada como uno de
los requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo,
orientación Forestal

MONTEVIDEO
URUGUAY
2001

Tesis aprobada por:

Director :

Prof. Adj. Juan Pablo Chiara

:

Ing. Agr. Rodolfo Pedochi

:

Ing. Agr. Estela Priore

Fecha

Autor :

Pamela Vanesa Acosta Etchebarne

:

Sandra Mariela Almirón Sastre

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al personal de la sección Climatología y Pluviometría de la Dirección Nacional de Meteorología, a la señora Milka Sobrero, Met. Mario Bidegain y al Ing. Agr. Juan Burgueño por la colaboración prestada.

LISTA DE CUADROS Y GRÁFICOS

Cuadro N°	Página
1- Coeficientes de tanque A para estación Sayago-----	21
2 – Coeficientes de tanque A para estación Prado-----	21
3 - Coeficientes de regresión anual α de Priestley Taylor-----	22
4 –Análisis estadístico comparativo anual de los diferentes métodos de estimación de ETP -----	23
5 –Partición de las diferencias, diferencia de medias, correlación y pendientes mensuales entre las estimaciones de ETP de Papadakis y Penman Monteith recomendado-----	28
6 – Partición de las diferencias, diferencia de medias con valores de significancia, correlación y pendientes mensuales entre las estimaciones de ETP de Penman FAO y Penman Monteith recomendado-----	29
7 – Partición de las diferencias, diferencia de medias con valores de significancia, correlación y pendientes mensuales entre las estimaciones de ETP de Linacre y Penman Monteith recomendado-----	30
8- Partición de las diferencias, diferencia de medias con valores de significancia, correlación y pendientes mensuales entre las estimaciones de ETP de Priestley Taylor y Penman Monteith recomendado-----	31
9 –Partición de las diferencias, diferencia de medias con valores de significancia, correlación y pendientes mensuales entre las estimaciones de ETP de Priestley Taylor ajustado y Penman Monteith recomendado-----	32
10- Partición de las diferencias, diferencia de medias con valores de significancia, correlación y pendientes mensuales entre las estimaciones de ETP de tanque A y Penman Monteith recomendado-----	33

11 --Análisis estadístico comparativo anual de los diferentes métodos de estimación de ETP -----	35
12 -- Partición de las diferencias, diferencias en medias, correlación y pendientes mensuales entre las estimaciones de ETP de Papadakis y Penman Monteith recomendado-----	40
13-- Partición de las diferencias, diferencias en medias con valores de significancia, correlación y pendientes mensuales entre las estimaciones de ETP de Penman FAO y Penman Monteith recomendado -----	41
14- Partición de las diferencias, diferencias en medias con valores de significancia, correlación y pendientes mensuales entre las estimaciones de ETP de Linacre y Penman Monteith recomendado-----	42
15- Partición de las diferencias, diferencias en medias con valores de significancia, correlación y pendientes mensuales entre las estimaciones de ETP de Priestley Taylor y Penman Monteith recomendado-----	43
16 --Partición de las diferencias, diferencias en medias con valores de significancia, correlación y pendientes mensuales entre las estimaciones de ETP de Priestley Taylor ajustado y Penman Monteith recomendado -----	44
17 – Análisis estadístico comparativo anual de los diferentes métodos de estimación de ETP y Penman Monteith recomendado para la estación Sayago -----	46
18 – Partición de las diferencias, diferencia de medias, correlación y pendientes mensuales entre las estimaciones de ETP de Papadakis y Penman Monteith recomendado-----	51
19 – Partición de las diferencias, diferencia de medias con valores de significancia correlación y pendientes mensuales entre las estimaciones de ETP de Penman – FAO y Penman Monteith recomendado -----	52
20- Partición de las diferencias, diferencia de medias con valores de significancia correlación y pendientes mensuales entre las estimaciones de ETP de Linacre y Penman Monteith recomendado-----	53
21- Partición de las diferencias, diferencia de medias con valores de significancia correlación y pendientes mensuales entre las estimaciones de ETP de Priestley Taylor y Penman Monteith recomendado-----	54

22 -- Partición de las diferencias, diferencia de medias con valores de significancia correlación y pendientes mensuales entre las estimaciones de ETP de Priestley Taylor ajustado y Penman Monteith recomendado-----	55
23-- Partición de las diferencias, diferencia de medias con valores de significancia correlación y pendientes mensuales entre las estimaciones de ETP por el método Tanque A y Penman Monteith recomendado-----	56
24.- Análisis estadístico comparativo anual entre Papadakis, Papadakis ajustado mediante sesgo anual comparados con el método recomendado-----	58
25 -- Partición de las diferencias, diferencias de medias con valores de significancia y correlación entre las estimaciones de ETP de Papadakis con ajuste anual y Penman Monteith recomendado-----	59
26. - Diferencia entre los promedios mensuales de las estimaciones de ETP de Papadakis y Penman Monteith recomendado en mm/día (1981-1996)--	60
27.- Análisis comparativo estadístico anual entre Papadakis, Papadakis ajustado mediante sesgo mensual comparados todos con el método recomendado--	60
28. - Partición de las diferencias, diferencias de medias con valores de significancia y correlación entre las estimaciones de ETP de Papadakis con ajuste mensual y Penman Monteith recomendado -----	61
29 -- Análisis estadístico comparativo anual entre Papadakis, Papadakis ajustado mediante sesgo anual comparados todos con el método recomendado--	62
30. --Partición de las diferencias, diferencia de medias con valores de significancia y correlación a nivel mensual entre las estimaciones de ETP por el método de Papadakis ajustado mediante sesgo anual y Penman Monteith recomendado -----	63
31 - Diferencias entre los promedios mensuales de las estimaciones de ETP entre el método de Papadakis y Penman Monteith recomendado en mm/día (1981-1996)-----	64
32 -- Análisis comparativo estadístico anual entre Papadakis, Papadakis ajustado mediante sesgo mensual, comparados con el método recomendado-----	64

33 - Partición de las diferencias, diferencia de medias con valores de significancia y correlación a nivel mensual entre las estimaciones de ETP por el método de Papadakis ajustado mediante sesgo mensual y Penman Monteith recomendado-----	65
34. – Análisis estadístico comparativo anual entre Papadakis, Papadakis ajustado mediante sesgo anual comparados ambos con el método recomendado-----	66
35. – Partición de las diferencias, diferencias de medias con valores de significancia y correlación mensuales entre las estimaciones de Papadakis con ajuste anual y Penman Monteith recomendado -----	67
36.- Diferencias entre los promedios mensuales de las estimaciones de ETP de Papadakis y Penman Monteith recomendado en mm/día (1981-1996)-----	67
37. – Análisis estadístico comparativo anual entre Papadakis y Papadakis ajustado mediante sesgo mensual comparados ambos con el método recomendado -----	68
38.- Partición de las diferencias, diferencias de medias con valores de significancia y correlación mensuales entre las estimaciones de Papadakis con ajuste mensual y Penman Monteith recomendado -----	69
39 - Coeficientes mensuales de ajuste de las estimaciones de ETP de Linacre al método de Penman Monteith recomendado hallados para la estación Prado-----	70
40.- Análisis estadístico comparativo anual de las estimaciones de ETP entre Linacre original y Linacre ajustado ambos comparados con Penman Monteith recomendado-----	71
41 - Partición de las diferencias , diferencias de medias con valores de significancia y correlación a nivel mensual entre las estimaciones de ETP de Linacre ajustado y Penman Monteith recomendado-----	72
42 - Coeficientes mensuales de ajuste de las estimaciones de ETP de Linacre al método de Penman Monteith recomendado para la estación Carrasco---	73
43 - Análisis estadístico comparativo anual de las diferencias en las estimaciones de ETP entre Linacre original, Linacre ajustado ambos comparados con	

Penman Monteith recomendado-----	74
44 - Partición de las diferencias, diferencias de medias con valores de significancia, correlación y pendientes mensuales entre las estimaciones de ETP por el método de Linacre ajustado y el método Penman Monteith recomendado -----	74
45 - Coeficientes mensuales de ajuste de las estimaciones de ETP de Linacre al método de Penman Monteith recomendado para la estación Sayago-----	75
46 - Análisis comparativo estadístico anual de las diferencias en las estimaciones de ETP entre Linacre original y Linacre ajustado ambos comparados con Penman Monteith recomendado -----	76
47 .- Partición de las diferencias, diferencia de medias con valores de significancia, correlación y pendientes a nivel mensual de las estimaciones de ETP de Linacre ajustado y Penman Monteith recomendado-----	77
48 – Estimación promedio mensual de la ETP por el método Penman Monteith recomendado (mm/día) período 1981-1996 para la estación Prado -----	78
49 - Estimación promedio mensual de la ETP por el método Penman Monteith recomendado (mm/mes) período 1981-1996 para la estación Prado---	79
50 –ETP Penman Monteith recomendado descrito a través de media y varianza para el período 1981- 1996 en mm/mes-----	80
51 - Distribución en cuantiles de la estimación de ETP con Penman Monteith recomendado hallados para la estación Prado-----	80
52. – Estimación promedio mensual de la ETP por el método Penman Monteith recomendado (mm/día) período 1982-1996 para la estación Carrasco ---	82
53. - Estimación promedio mensual de la ETP por el método Penman Monteith recomendado (mm/mes) período 1982-1996 para la estación Carrasco--	83
54 . - ETP - Penman Monteith recomendado descrito a través de media y varianza para el período 1982- 1996 en mm/mes-----	83
55. – Distribución en cuantiles de la estimación de la ETP con Penman Monteith recomendado hallado para la estación Carrasco (mm/mes)-----	84

56. –Estimación promedio mensual de la ETP por el método de Penman Monteith recomendado(mm/día) en el período 1981-1996 para la estación Sayago--	86
57.- Estimación promedio mensual de la ETP por el método de Penman Monteith recomendado(mm/mes) en el período 1981-1996 para la estación Sayago--	87
58.- ETP Penman Monteith recomendado descrito a través de media y varianza para el período 1981-1996 en mm/mes-----	87
59. –Distribución en cuantiles de la estimación de ETP con Penman Monteith recomendado hallados para la estación Sayago-----	88

Gráficos N°

1- Dispersión de los datos de estimación de ETP por el método de Papadakis con respecto a Penman Monteith recomendado (recta 1:1) -----	25
2- Dispersión de los datos de estimación de ETP por el método de Penman FAO con respecto al método de Penman Monteith recomendado (recta 1:1)-----	25
3 –Dispersión de los datos de estimación de ETP por el método de Linacre con respecto al método Penman Monteith recomendado (recta 1:1)-----	26
4 - Dispersión de los datos de estimación de ETP por el método de Priestley Taylor con respecto al método Penman Monteith recomendado (recta 1:1)-----	26
5.- Dispersión de los datos de estimación de ETP por el método de Priestley Taylor ajustado con respecto al método Penman Monteith recomendado (recta 1 :1)--	27
6 – Dispersión de los datos de estimación de ETP por el método Tanque A con respecto al método de Penman Monteith recomendado (recta 1:1)---	27

7- Comportamiento de los diferentes métodos de estimación de la ETP para estación Prado.-----	34
8 - Dispersión de los datos de estimación de ETP por el método Papadakis con respecto al método de Penman Monteith recomendado (recta 1:1)-----	37
9 –Dispersión de los datos de estimación de ETP por el método de Penman- FAO con respecto al método Penman Monteith recomendado (recta 1:1)-----	37
10 – Dispersión de los datos de estimación de ETP por el método de Linacre con respecto al método de Penman Monteith recomendado (recta 1:1)----	38
11 –Dispersión de los datos de estimación de ETP por el método de Priestley Taylor con respecto al método de Penman Monteith recomendado (recta 1:1)-	38
12- Dispersión de los datos de estimación de ETP por el método Priestley Taylor ajustado con respecto al método de Penman Monteith recomendado (recta 1:1)-39	
13 – Comportamiento de los diferentes métodos de estimación de la ETP hallados para la estación Carrasco (1981-1996)-----	45
14- Dispersión de los datos de estimación de ETP por el método de Papadakis con respecto a Penman Monteith recomendado (recta 1:1)-----	48
15 – Dispersión de los datos de estimación de ETP por el método Penman FAO con respecto a Penman Monteith recomendado (recta 1:1)-----	48
16 – Dispersión de los datos de estimación de ETP por el método de Linacre con respecto a Penman Monteith recomendado (recta 1:1)-----	49
17 – Dispersión de los datos de estimación de ETP por el método de Priestley Taylor con respecto a Penman Monteith recomendado (recta 1:1)-----	49
18 – Dispersión de los datos de estimación de ETP por el método Priestley Taylor ajustado con respecto a Penman Monteith recomendado (recta 1:1)-----	50
19 - Dispersión de los datos de estimación de ETP por el método Tanque A con respecto a Penman Monteith recomendado (recta 1:1)-----	50
20 – Comportamiento de los diferentes métodos de estimación de la ETP hallados para la estación Sayago (1981-1996) -----	57

21.- Promedios mensuales y percentiles extremos de la estimación de la ETP calculado por Penman Monteith 1981-1996 -----	81
22.- Promedios mensuales y percentiles extremos de la estimación de la ETP calculado por Penman Monteith 1982-1996-----	85
23.- Promedios mensuales y percentiles extremos de la estimación de la ETP calculado por Penman Monteith 1981-1996 -----	89

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PAGINA DE APROBACIÓN	II
AGRADECIMIENTOS	III
LISTA DE CUADROS y GRÁFICOS.....	IV
I. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
II. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	3
A. <u>CONCEPTO DE EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL</u>	3
B. <u>MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL</u>	4
C. <u>MÉTODOS EXAMINADOS</u>	4
1. <u>Fórmulas basadas en la temperatura del aire</u>	4
2. <u>Fórmulas basadas en la radiación solar</u>	6
3. <u>Fórmulas basadas en el déficit de presión de vapor</u>	7
4. <u>Método de tanque clase A</u>	7
5. <u>Métodos combinados</u>	8
III. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	10
A. <u>INFORMACIÓN METEOROLÓGICA</u>	10
Corrección del dato de viento	12
B. <u>MÉTODOS DE ESTIMACIÓN SELECCIONADOS</u>	13
1. <u>método de Linacre</u>	13
2. <u>método de Papadakis</u>	13
3. <u>método de evaporación de Tanque A</u>	14
4. <u>método de Priestley Taylor</u>	16
5. <u>método de Penman FAO</u>	16
6. <u>método de Penman Monteith recomendado por FAO</u>	17
C. <u>ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN</u>	18
1. <u>Análisis gráfico</u>	18
2. <u>Análisis estadístico</u>	18
3. <u>Tablas de comportamiento</u>	19
4. <u>Validación de los métodos</u>	19
IV. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	20
A. <u>PROCESAMIENTO PRELIMINAR DE LA INFORMACIÓN</u>	20
1. <u>Viento</u>	20
2. <u>Coeficientes de tanque A</u>	21
3. <u>Coeficientes α de la ecuación de Priestley Taylor</u>	22
B. <u>ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS DIFERENTES MÉTODOS</u>	23

1. <u>Estación Prado</u>	23
a. Análisis anual	23
b. Análisis mensual	28
b1. Método de Papadakis	28
b2. Método de Penman FAO	29
b3. Método de Linacre	30
b4. Método de Priestley Taylor	31
b5. Método de Priestley Taylor ajustado	32
b6. Método de Tanque A	33
2. <u>Estación Carrasco</u>	35
a. Análisis anual	35
b. Análisis mensual	40
b1. Método de Papadakis	40
b2. Método de Penman FAO	41
b3. Método de Linacre	42
b4. Método de Priestley Taylor	43
b5. Método de Priestley Taylor ajustado	44
3. <u>Estación Sayago</u>	46
a. Análisis anual	46
b. Análisis mensual	51
b1. Método de Papadakis	51
b2. Método de Penman FAO	52
b3. Método de Linacre	53
b4. Método de Priestley Taylor	54
b5. Método de Priestley Taylor ajustado	55
b6. Método de Tanque A	56
C. AJUSTE DE LOS MÉTODOS Y VALIDACIÓN	58
1. Método de Papadakis	58
a. – Estación Prado	58
b. – Estación Carrasco	62
c. – Estación Sayago	66
2. Método de Linacre	70
a. – Estación Prado	70
b. – Estación Carrasco	73
c. – Estación Sayago	75
D. DESCRIPCIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL	78
1.- <u>Estación Prado</u>	78
a.- Estimación de la ETP a través del método de Penman Monteith..	78
b.- Test de Shapiro Wilk	80
2. <u>Estación Carrasco</u>	82
a.- Estimación de la ETP a través del método de Penman Monteith..	82

b. Test de Shapiro Wilk	83
3. <u>Estación Sayago</u>	86
a.- Estimación de la ETP a través del método de Penman Monteith..	86
b.- Test de Shapiro Wilk	87
V. <u>CONCLUSIONES</u>	90
VI. <u>RESUMEN</u>	91
VII. <u>SUMMARY</u>	92
VIII. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	93
IX. <u>ANEXO</u>	97

I – INTRODUCCION

Las empresas agropecuarias requieren de una administración basada en la información, herramienta indispensable en la toma de decisión dentro de una empresa. Se han diseñado modelos que permiten predecir la evolución de los cultivos de acuerdo a las condiciones de la región a ser cultivada. El correcto análisis de los elementos básicos requeridos para un cultivo determina el éxito o fracaso de la inversión agropecuaria.

El conocimiento de la evapotranspiración potencial (ETP) es de vital importancia para poder estimar las necesidades de agua de los cultivos. El agua es fundamental en la vida de las plantas y animales; es por ello que nos afecta el rol de la evapotranspiración en el ciclo hidrológico. El cambio de la fase líquida a vapor provee mejores mecanismos de redistribución de la energía dentro del ecosistema y a través de la atmósfera.

La necesidad de expandir la producción de alimento ha incrementado el área irrigada en regiones subhúmedas y áridas del mundo (Rosemberg, 1983). La ETP es un dato básico a partir del cual se planifica un proyecto de riego. Esta información permite diseñar fuentes de agua, unidades de bombeo y conducción así como definir la idoneidad de fuentes de agua. De ésta manera se satisfacen las necesidades de los cultivos con criterios racionales desde el punto de vista del recurso y desde el punto de vista económico.

El balance hidrológico es un método práctico y racional para evaluar el agua como factor de producción en agricultura ya que en función de los elementos de este balance y sus variaciones temporales y espaciales se puede deducir la aptitud agropecuaria del país (Burgos y Corsi, 1978). En las condiciones de clima del Uruguay, subhúmedo y con un régimen pluviométrico variable entre años, el riego se realiza como suplemento de las lluvias para atender la demanda de agua de los cultivos (Agorio, Cardellino, Corsi, Franco, 1988). Es preciso entonces conocer la dinámica del régimen hidrológico. Ello implica realizar un estudio sobre la base de datos climáticos de una serie importante de años en la zona a ser cultivada, para asumir diferentes niveles de riesgo en la planificación de los proyectos de riego y en sus análisis económicos.

La evapotranspiración potencial es uno de los elementos fundamentales en los pronósticos de producción (Conti, Giagnoni, Moschin, 1987). Es una variable fundamental que alimenta los modelos de simulación de cultivos y pasturas. Una estimación poco ajustada de la evapotranspiración potencial compromete los resultados de la aplicación de estos modelos (Chiara y Cruz, 1997). Debido a la falta de información local es que se incurre en utilizar fórmulas de mayor o menor grado de complejidad que estiman la evapotranspiración potencial con diferentes grados de ajuste.

Los tipos climáticos del Uruguay fueron originalmente clasificados por Orecchia (1962), citado por Burgos y Corsi (1978), tomando la información climatológica de la red de estaciones de la Dirección General de Meteorología del Uruguay de acuerdo al método de Thornthwaite (1948). Con dicho método se describen por primera vez los elementos del balance hidrológico.

En 1973 con el fin de predecir la evapotranspiración en el Uruguay, Henry utilizó varias ecuaciones (Thornthwaite, Penman, Turc, Blaney Criddle, evaporímetro de Piché y tanque A). Estas predicciones fueron realizadas en las estaciones meteorológicas de Estanzuela, Bella Unión y la Charqueada. En la Estanzuela, Henry confirmó la validez de la ecuación de Penman (1948) con datos obtenidos entre agosto de 1970 y diciembre de 1972 utilizando dos evapotranspirómetros de Thornthwaite. Como resultado pudo determinar la evapotranspiración por el método de Penman para períodos de siete años en la Estanzuela y Bella Unión y para un período de cinco años en la Charqueada.

En 1977, Díaz Clara realizó nuevas estimaciones de evapotranspiración potencial por el método de Papadakis y Thornthwaite para distintas localidades de nuestro país. Es en 1978 que Burgos y Corsi utilizaron el método de Thornthwaite y Mather (1955) y la información sobre las características de los suelos del Uruguay tomada del CIDE (1963) para estimar el balance hidrológico para varias regiones del país.

El último de los trabajos sobre evapotranspiración realizado por Boshell y Chiara (1982) describe la regionalización agroclimática de nuestro país mediante el análisis de los datos de evapotranspiración potencial provenientes de la aplicación del método de estimación de Linacre (1977), ajustado al método de Penman.

El presente trabajo pretende evaluar el comportamiento de los distintos métodos de estimación de evapotranspiración potencial que se han citado en la bibliografía, en comparación con el método Penman Monteith recomendado por la FAO (Smith, 1991). Primero se identificó el método que, utilizando menos variables climáticas, se aproximaba más a la estimación de Penman Monteith, seguidamente se seleccionó y validó dicho método como sustituto con sus correspondientes coeficientes de ajuste. En una tercera etapa se describió el comportamiento de la evapotranspiración potencial a través del método recomendado en las estaciones meteorológicas de Prado, Carrasco y Sayago.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

A. CONCEPTO DE EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL

Los términos propuestos por la Organización Meteorológica Mundial (O.M.M.) en 1966, citados por Frère (1978) definen la evapotranspiración como la suma de las cantidades de agua evaporada desde el suelo y transpirada por las plantas.

La evapotranspiración potencial es la cantidad máxima de agua capaz de ser perdida por una capa continua de vegetación que cubra todo el terreno cuando es ilimitada la cantidad de agua suministrada al suelo.

Al concepto se le han introducido algunas variantes como fundamento de los métodos a desarrollar. Tal es el caso de la fórmula recomendada de Penman Monteith basada en la siguiente definición: "La evapotranspiración potencial es la tasa de evapotranspiración que se da a partir de un cultivo hipotético con una altura uniforme de 0,12 m y una resistencia del canopeo fija de 70 m/s y un albedo de 0,23, la cual podría parecerse a la evapotranspiración producida en una extensa superficie de cubierta vegetal de altura uniforme, en activo crecimiento, que sombree totalmente el suelo y sin restricciones de agua" (Smith, 1991).

Los valores de evapotranspiración potencial están condicionados por los componentes climáticos y geográficos, y hacen que variables físicas como la temperatura, humedad relativa, viento y radiación, caractericen el lugar bajo estudio. Su determinación experimental está basado en mediciones directas utilizando lisímetros o mediante técnicas de balance de energía recomendado por la O.M.M. (Frère 1978).

Se han desarrollado distintos métodos según las variables utilizada y según los fundamentos en los que se basan. Reconociendo las limitantes en la disponibilidad de datos climáticos confiables para los usuarios se deduce que los métodos de evapotranspiración potencial deben recomendarse según los tipos de datos disponibles y según el grado de ajuste del método (Linacre, 1977).

B. MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL

La falta de datos básicos y las dificultades de medida encontradas en los métodos de campo han sido la causa de grandes esfuerzos hechos para desarrollar ecuaciones de evapotranspiración que puedan relacionar evapotranspiración con datos climáticos fácilmente disponibles. Las ecuaciones resultantes son muy numerosas (Henry, 1973).

Rosenberg et al. (1983) y Smith (1991), han realizado agrupaciones bajo diferentes categorías de los diversos métodos para el cálculo de evapotranspiración potencial. A pesar de que los grupos difieran en su estructura, los criterios utilizados por ambos autores son similares. Rosenberg et al. (1983), divide los métodos de estimación en: método hidrológico o de balance hídrico, métodos climatológicas y métodos micrometeorológicos.

Los métodos climatológicos se basan en la utilización de elementos climáticos como: la temperatura del aire, (*Método de Thornthwaite, Blaney Criddle, Hargreaves y Linacre*) radiación solar (*Turc, Jensen y Haise, Radiación y Makkink*). Otros métodos se basan en una combinación de elementos climáticos (*Penman, Penman FAO, Penman Monteith y Priestley Taylor*). El método de *Papadakis*, citado por: Díaz Clara (1977), Luque (1981) y Conti et al. (1987), que utiliza el déficit de presión de vapor, puede ser considerado dentro de esta categoría.

C. METODOS EXAMINADOS

1. Fórmulas basadas en la temperatura del aire

En ciertas regiones del mundo los datos climatológicos disponibles son limitados; es por ello que diferentes autores han desarrollado métodos de estimación de la evapotranspiración en función de una única variable como la temperatura del aire. Hashemi y Habibian (1979), citados por Rosenberg et al. (1983), afirman que si las estimaciones de evapotranspiración son hechas para varias semanas o meses sería una razonable primera aproximación, aún con los defectos inherentes a éstos modelos.

En el informe final de la reunión de expertos de la FAO (Smith, 1991) se manifiesta la necesidad de mantener esta clase de métodos basados en la temperatura del aire y plantean la posibilidad de incorporarle información de radiación extraterrestre, temperatura máxima y mínima como se usó en el método de Hargreaves. En conclusión, recomiendan mayores estudios que conduzcan a un método basado en la temperatura, satisfactorio en diferentes condiciones climáticas.

Método de Thornthwaite- Thornthwaite (1948) citado por Rosenberg et al. (1983) describe la importancia física y biológica de la evapotranspiración potencial en una clasificación climática. Como consecuencia de ello desarrolla una ecuación para su estimación en función de la temperatura media mensual. Para simplificar estos cálculos se han preparado tablas y nomogramas (Thornthwaite y Mather, 1955; Palmer y Havens, 1958; citados por Rosenberg et al., 1983). Pelton et al, (1960) citado por Rosenberg et al., (1983) afirma que en períodos cortos de tiempo la temperatura media no es una medida apropiada de la radiación entrante. La temperatura media y la evapotranspiración tienen funciones similares a la radiación neta y se correlacionan cuando los períodos considerados son más largos. Por otra parte Henry (1973) afirma que dos lugares de igual temperatura media mensual (ej. Estanzuela y Laguna Merín) presentaron diferencias en un 50% en la evapotranspiración potencial a partir de tanque A que es el método de mayor uso a nivel de productores por su practicidad

Método Blaney Criddle - Blaney y Criddle (1950) citados por Rosenberg et al. (1983), desarrollaron un método para estimar la evapotranspiración a la que llaman “uso consuntivo” (c_u). Este método ha sido extensamente usado en el oeste de los Estados Unidos con resultados suficientemente precisos para muchas aplicaciones prácticas (Rosenberg et al., 1983).

Doorembos y Pruitt (1976) introducen un factor de corrección a este método, basado en estimaciones de humedad, heliofanía y viento, que mejora la estimación. No obstante, se reconoce el valor histórico del método de Blaney y Criddle, los expertos no proponen recomendarlo, en vistas de las extensas calibraciones locales que son necesarias para obtener resultados satisfactorios (Smith, 1991). Detalles del método son descriptos por Burman y Pochop (1990).

Método de Hargreaves - Hargreaves (1974) citado por Rosenberg et al. (1983), desarrolló un método de estimar evapotranspiración potencial haciendo énfasis en la simplicidad y mínimo requerimiento de datos climáticos, básicamente temperatura media del aire y humedad relativa. Hargreaves testeó el método con medidas de lisímetros en varias localidades a través del mundo y desarrolló ecuaciones de regresión en diferentes regímenes climáticos. El modelo de estimación de Hargreaves mostró una sobrestimación de los valores de Penman aplicado en la ciudad de La Paz, Bolivia (Frère, Rikjs, Rea, 1978).

Método de Linacre - El modelo es una simplificación del método de Penman que puede aplicarse basándose en el empleo de un único elemento climático (temperatura del aire). La fórmula de Linacre (1977) incluye además datos geográficos: elevación sobre el nivel del mar y latitud. Los coeficientes obtenidos surgen de correlaciones logradas en un amplio rango de lugares en Africa, Australia y Nueva Zelanda (Linacre, 1977).

En la Regionalización Agroclimática de la República Oriental del Uruguay (Boshell, Chiara, 1982) se determinaron factores de ajuste para transformar los valores de evapotranspiración potencial calculados por Linacre a valores equivalentes de ETP Penman, utilizando la información de las estaciones del Prado, La Estanzuela y Bella Unión (anexo pág.104).

2. Fórmulas basadas en la radiación solar

Evidencias experimentales sugieren que la energía determinante de la evapotranspiración proviene fundamentalmente de la radiación solar (Tanner y Lemon 1962, citado por Rosenberg, 1983). La evapotranspiración se correlaciona linealmente con la radiación solar, pero esa relación de dependencia varía según la estación del año (Aslyng, 1974; citado por Rosenberg et al., 1983).

Se reconoce la utilidad de los métodos basados en la radiación y su validez, en los climas húmedos en particular (Smith, 1991). Las deficiencias de los mismos en condiciones de aridez y advección debe ser enfatizada. A pesar de corresponder a una categoría propia, los métodos basados en la radiación solar pueden también incluir la temperatura del aire.

Método de Turc - La fórmula establecida por Turc exige para la estimación de la evapotranspiración potencial, conocer la radiación solar global medida o estimada, la temperatura media del aire y la humedad relativa cuando su valor es inferior al 50% (Frère et al., 1978; Fattorelli y Scarpa, 1984). Frère et al. (1978) comenta al respecto que este método no minimiza la utilización de parámetros climáticos y por ello cree conveniente utilizar directamente la fórmula racional de Penman.

Método de Jensen y Haise - Para la estimación de evapotranspiración potencial Jensen y Haise (1963) citado por Fattorelli y Scarpa (1984) utilizan datos de temperatura y de radiación solar. El método subestima la evapotranspiración en condiciones advectivas y da buenos resultados en condiciones no advectivas (Jensen et al., 1970; citado por Rosenberg et al., 1983).

Método de Makkink - Makkink (1957) citado por Fattorelli y Scarpa (1984) emplea valores de temperatura y radiación solar. Rosenberg et al. (1983) afirma que la fórmula de Makkink da buenos resultados en climas húmedos fríos pero que no ha sido encontrado satisfactorio en zonas áridas.

Método de Radiación - Doorendos y Pruitt (1977) propusieron a la F. A. O. el método Radiación a partir de la ecuación de Makkink (1957) introduciendo un factor de corrección basado en la humedad relativa y viento para compensar las condiciones advectivas (Smith, 1991). En zonas donde los datos climáticos disponibles se refieren a

insolación, nubosidad, radiación y temperatura del aire, pero no el viento y la humedad, Doorembos y Pruitt (1977) recomiendan aplicar el método de Radiación para predecir efecto del clima sobre las necesidades de los cultivos. El método prevé además la utilización de estimaciones generales de humedad y viento.

La reunión de FAO (Smith, 1991) concluye que el método podría mejorarse por ejemplo: incluyendo el término de radiación neta en lugar de radiación solar.

3. Fórmula basada en el déficit de presión de vapor

Método de Papadakis- Papadakis (1962) citado por Luque (1981) elabora su ecuación de estimación basándose en la presión de vapor de saturación a la temperatura máxima media mensual y la tensión de vapor del aire observada. En Uruguay se han elaborado balances hídricos empleando la ecuación de Papadakis (Díaz Clara, 1977). Conti, Giagnoni y Moschini (1987) mencionan el método como adecuado para la estimación de evapotranspiración potencial ya que responde al déficit de presión de vapor, variable climática que se mantiene estable en la atmósfera.

4. Método del tanque clase A

Otro método se basa en el dato de evaporación tomado de un evaporímetro llamado *tanque clase A*. En regiones húmedas el tanque A puede dar estimaciones ajustadas a la realidad de evapotranspiración potencial llegando al 60-90% del dato de evaporación (Rosenberg et al., 1983). Pruitt y Laurence (1968) citado por Rosenberg et al. (1983), reportaron que la evapotranspiración desde hierbas era un 80% de la evaporación de una superficie de agua libre excepto cuando los vientos eran fuertes y el aire seco y caliente. Doorembos y Pruitt (1977) obtuvieron coeficientes de tanque A en función de la cobertura vegetal, nivel de humedad relativa y viento en 24 horas. Los evaporímetros de cubeta han permitido medir los efectos integrados de la radiación, el viento, la temperatura y la humedad sobre la evaporación de una superficie de agua libre. Los coeficientes K_t que figura en la fórmula, reflejan los efectos del clima sobre la evapotranspiración del cultivo de referencia. (Doorembos y Pruitt, 1977).

Este método provee datos útiles de apoyo para correlación y predicción. Está bien reconocido el valor práctico del método de evaporación del tanque clase A en particular en estudios comparativos y en cronogramas de riego, aunque requiere calibración local. (Smith, 1991).

Para asegurar la validez en la utilización del método de evaporación de tanque A se plantea la estandarización en las prácticas de instalación, selección, mantenimiento de los sitios con instrucciones detalladas con respecto al diseño del tanque, emplazamiento, mantenimiento y operación

Agorio, Cardellino, Corsi, Franco (1988) publicaron coeficientes de tanque A para la región sudoeste de nuestro país, que surgieron del análisis de los datos de evapotranspiración potencial - Penman FAO y los datos de evaporación de tanque. Este mismo procedimiento fue empleado por I.N.I.A. Las Brujas (1994).

5. Métodos combinados

Penman (1948) citado por Rosenberg et al. (1983), fue de los primeros en desarrollar un método considerando el balance de energía y el transporte turbulento del vapor de agua desde una superficie de evaporación. La evapotranspiración es calculada con la ecuación de balance de energía y la ecuación aerodinámica que considera el flujo de calor sensible. Aunque requieren de un mayor número de variables climáticas no siempre disponibles, es de aceptación más generalizada que los anteriores métodos.

Método de Penman- El método Penman (1948) citado por Burman y Pochop (1994), resulta de la combinación del balance de la energía con la función del viento. Bajo condiciones de advección de calor sensible, Rosenberg et al., (1983) encontró que el método subestimaba consistentemente la evapotranspiración del suelo desnudo y de alfalfa.

Evaporímetro de Piché en sustitución del término aerodinámico de la ecuación de Penman.- En muchas regiones la información básica meteorológica es escasa pero es posible obtener información del evaporímetro de Piché. La tasa de evaporación de Piché ubicado al amparo y no expuesto a la radiación solar depende de la humedad del aire y en menor proporción de la velocidad del viento; las dos variables del término aerodinámico. Stanhill (1962) citado por Papaioannou, Vouraki, Kerkides (1996) sugiere que es posible estimar el término aerodinámico de la ecuación de Penman (1948) con datos del evaporímetro de Piché. El evaporímetro muestra una sobrestimación de la ecuación de Penman para todos los meses en un estudio realizado en la ciudad de Atenas (1931 – 1985) citado por Papaioannou, Vouraki, Kerkides (1996).

Método Penman - FAO - Analizando los datos de una cadena de lisímetros mundial, Doorembos y Pruitt (1977) propusieron una modificación al método original de Penman (1948), que pasó a conocerse como “Penman - FAO”. Este método ha sido ampliamente usado con resultados satisfactorios (Frère, 1978). No obstante haber encontrado una amplia aplicación mundial en proyectos de manejo y desarrollo de riego, existe evidencia que el método sobrestima en condiciones no advectivas (Smith, 1991).

Smith (1991) menciona las inconsistencias del presente método en cuanto a la estandarización de la función viento, un insatisfactorio comportamiento del factor de corrección y considerables desviaciones para altos valores de viento.

Método de Penman Monteith – El método de Penman Monteith ha sido usado con buen suceso en el cálculo de la evapotranspiración de cultivos y de bosques (Slabbers, 1977 y Calder, 1977; citados por Rosenberg et al., 1983), pero requiere para su utilización los valores de resistencia al canopeo y resistencia aerodinámica datos no disponibles, por lo que su uso se limita a aplicaciones en proyectos de investigación.

La reunión de expertos de la FAO (Smith, 1991), concluyó con respecto al método que los factores de resistencia ya deberían estar incluidos en la fórmula para facilitar los procedimientos de cálculo en usuarios comunes.

Estudios comparativos realizados bajo los auspicios de distintos organismos internacionales muestran un comportamiento muy convincente bajo distintas condiciones climáticas del método de Penman Monteith. En los últimos años, una serie de estudios individuales han reportado resultados confirmatorios (Smith, 1991).

Método Penman Monteith recomendado por FAO - En éste método se define el cultivo de referencia y se toman los valores de resistencia aerodinámica, canopeo y se define albedo como valores fijos. Además se combinan las derivaciones encontradas entre el término de radiación y el aerodinámico de Penman Monteith y se llega a la fórmula recomendada para el cálculo de la evapotranspiración potencial de un cultivo de referencia (Smith, 1991)

Dado el valor histórico del método de Penman y debido al gran número de usuarios, se plantea que debería proveerse de una adecuada información de la que resulte la evidencia a favor de la adopción de la metodología de Penman Monteith sobre la de Penman FAO, para lo cual sugiere evaluar ambos métodos en diferentes condiciones climáticas (Smith, 1991).

Método de Priestley Taylor – Priestley Taylor (1972) citado por Burman y Pochop (1994) mostró que en ausencia de advección, la evapotranspiración potencial está directamente relacionado con la evaporación de equilibrio. Este método es una simplificación de la ecuación de Penman en que el término aerodinámico es sustituido por una constante empírica que es α . Estableciendo datos confiables desde diversas superficies Priestley Taylor obtuvo valores para α de entre 1,08 y 1,34 con una media de 1,26.

Davies y Allen (1973) y Stewart y Rouse (1977) citado por Rosenberg et al. (1983), confirmaron ese valor para temperaturas entre 15 y 30° C. Este método también ha sido utilizado por Jury y Tanner (1975) citado por Rosenberg et al. (1983) mostraron que α se incrementaba con la advección y sugirieron un procedimiento para adaptar el método a condiciones advectivas. Rosenberg et al. (1983) sostiene que el método de Priestley Taylor es un método adecuado en zonas húmedas.

III - MATERIALES Y MÉTODOS

A. – INFORMACIÓN METEOROLÓGICA

La zona sur del Uruguay cuenta con 5 estaciones meteorológicas: Melilla, Prado, Sayago, Carrasco y Las Brujas. En el presente trabajo se utilizó la información de estación Sayago, Carrasco y Prado. Los datos de estación Melilla son discontinuos y no permitieron ser analizados. La información de Las Brujas no estuvo disponible para el presente trabajo.

Los datos recabados fueron introducidos en planillas electrónicas, siguiendo el modelo presentado en el anexo (pág. 105).

La estación agrometeorológica Sayago se ubica en las coordenadas latitud 34°50'16", longitud 56°13'18" a una altitud de 40 m SNMM (sobre el nivel del mar). Dicha estación meteorológica pertenece a la Universidad de la República, Facultad de Agronomía. Los datos recabados fueron:

- Temperatura del bulbo seco (° C) a la hora 9
- Temperatura del bulbo húmedo (° C) a la hora 9
- Temperatura máxima diaria (° C)
- Temperatura mínima diaria (° C)
- Humedad relativa (%) a la hora 9
- Evaporación - Piché (mm/día) a la hora 9
- Evaporación - Tanque A (mm/día) a la hora 9
- Recorrido del viento en km./día.
- Precipitación (mm/día) a la hora 9
- Insolación (horas de sol)

La estación meteorológica Carrasco se localiza a una latitud de 34°50'0" S, longitud 56°00'42" W, a una altitud 32,9 m SNMM. Esta estación meteorológica es perteneciente al Ministerio de Defensa Nacional; Dirección Nacional de Meteorología. Los datos recabados de esta estación fueron:

- Temperatura del bulbo seco (° C) a la hora 9
- Temperatura del bulbo húmedo (° C) a la hora 9
- Temperatura máxima diaria (° C)
- Temperatura mínima diaria (° C)
- Humedad relativa (%) a la hora 9
- Evaporación - Piché (mm/día) a la hora 9
- Viento a 10 m de altura (velocidad del viento en 10 min. nudos).
- Precipitación (mm/día) a la hora 9

- Insolación (horas de sol)

La estación meteorológica Prado se localiza en las coordenadas latitud 34°51'7" S, longitud 56°12'4" W, a una altitud 16,27 m SNMM. Dicha estación es perteneciente al Ministerio de Defensa Nacional, Dirección Nacional de Meteorología

Los datos obtenidos fueron:

- Temperatura del bulbo seco (° C) a la hora 9
- Temperatura del bulbo húmedo (° C) a la hora 9
- Temperatura máxima diaria (° C)
- Temperatura mínima diaria (° C)
- Humedad relativa (%) a la hora 9
- Evaporación - Piché (mm/día) a la hora 9
- Evaporación - Tanque A (mm/día) a la hora 9
- Viento a 2 m de altura (m/s) 1/3/81-15/2/87
- Viento a 10 m (km./h) 16/2/87 – 31/12/96
- Precipitación (mm/día) a la hora 9
- Insolación (horas de sol)

En todas las estaciones la información obtenida fue diaria en el período 1981- 1996.

Corrección del dato de viento

El viento es una de las variables que se incluye en los distintos métodos de estimación de evapotranspiración potencial. Es un elemento climático variable en cortas distancias cuyo coeficiente de variación es alto en todas las estaciones. El dato de viento debió ser procesado previo a su utilización en el cálculo de la evapotranspiración. Las tres estaciones meteorológicas registran la información en diferentes unidades, alturas y en diferentes modalidades.

En el caso de los datos de la estación Carrasco y Prado, se utilizó la ecuación de Jensen (1974) citado por Burman, Pochop (1994) para ajustar el dato de viento de 10 a 2 metros. (cálculo en el anexo, ec. 14)

El comportamiento del viento promedio diario se obtuvo a partir de los datos del anemómetro que registra recorridos en 24 horas. En los casos donde no se tuvo dicha información se tomó el dato puntual de la hora 9. Al usar este dato es posible obtener desviaciones en los resultados de los cálculos de evapotranspiración potencial, ya que se caracteriza el viento por ser una variable de alto coeficiente de variación en cortas distancias.

En estación Carrasco se realizó un análisis de regresión entre los datos promedio de velocidad de viento horario diario y el dato puntual de la hora 9 en forma decádica en cuatro años al azar (1985, 1986, 1991 y 1992). Se logró coeficientes de regresión anual que permitieron su ajuste para la inclusión de éste parámetro en las fórmulas de estimación de la evapotranspiración potencial. Los datos de viento se ajustaron de acuerdo a la función obtenida sólo a los efectos de la comparación entre métodos y no entre estaciones.

B - MÉTODOS DE ESTIMACIÓN SELECCIONADOS

La elección de las ecuaciones para el cálculo de la evapotranspiración estuvieron condicionada a las características de la variable climática y su disponibilidad en la zona de investigación.

Para el presente trabajo se seleccionaron 6 métodos que utilizan diferentes variables climáticas. La selección de las ecuaciones estuvo regida en función de las consideraciones obtenidas de la revisión bibliográfica.

Los métodos seleccionados fueron:

1. - método de Linacre

De los métodos que involucran como variable principal a la temperatura se seleccionó la ecuación de Linacre por haber sido utilizada a nivel nacional en la Regionalización Agroclimática del Uruguay (Boshell y Chiara, 1982).

$$ETP = [500 * T_m / (100-L) + 15 * (T - T_d)] / 80 - T$$

ETP – evapotranspiración potencial (mm/día)

$T_m = T + 0,006 * h$ (°C)

L – latitud en grados (°)

T – temperatura media (°C)

h – elevación (m)

T_d – temperatura del punto de rocío (°C)

$T - T_d = 0,0023.h + 0,37.T + 0,53.R + 0,35.Rann - 10,9$

R – rango diario de temperatura (temperatura máxima – temperatura mínima)

Rann – diferencia entre temperatura media del mes más caliente y el mes más frío del año.

2. - método de Papadakis

Se seleccionó el método de Papadakis por ser un método práctico con antecedentes a nivel nacional. Ha sido utilizado por Díaz Clara (1977) y en Argentina ha sido citado por Conti, Giagnoni y Moschin, (1987). Papadakis (1962) citado por Luque (1981) elabora la siguiente fórmula basado en la presión de vapor a la temperatura máxima media mensual y la tensión de vapor observada.

$$ETP = 0,5625 * (e_{m\acute{a}x} - e_{m\acute{i}n})$$

$e_{m\acute{a}x}$. presión de vapor de saturación a la temperatura máxima media (Mb)

$e_{m\acute{i}n}$. presión de vapor registrada y observada para el período considerado (Mb)

Se aplicó la fórmula de Goff – Gratch (List 1951) en el cálculo de la presión de vapor de saturación a los parámetros temperatura media mensual del bulbo seco y del bulbo húmedo (anexo; ec. 8). Se utilizaron los datos obtenidos en la fórmula de Arnold Howard (1933) citado en Práctico de Agrometeorología (anexo; ec 5; ec 7) en el cálculo de la presión de vapor observada. Se calculó la presión de vapor de saturación a la temperatura máxima media mensual con Goff- Gratch. Se aplicó la fórmula de estimación de Papadakis y se obtuvo el dato en milibares. Se aplicó el factor de conversión 0,750062 (Luque, 1981) para convertirlo en dato de evapotranspiración potencial promedio mensual en milímetros por día.

3.- método evaporación de Tanque A

Este método se seleccionó por ser una herramienta práctica a nivel predial y de utilización general por los productores a pesar de que es un método que como se menciona en la revisión, requiere extensa calibración local. La evapotranspiración del cultivo de referencia se puede predecir con la siguiente ecuación.

$$E T P = K t . E t$$

ETP- evapotranspiración potencial (mm/día)

Et - evaporación del tanque (mm/día)

Kt - coeficiente de tanque, adimensional varía entre 0 y 1

El coeficiente Kt fue calculado en base a datos de estimación de la evapotranspiración potencial con el método recomendado de Penman Monteith en un análisis de regresión con los datos de evaporación diario de la lectura del tanque A. Para el cálculo del Kt, se descartó del análisis, los datos de estimación de Penman Monteith que eran superiores al dato de lectura de tanque A, conjuntamente con el dato de lectura correspondiente a ese día. Esta depuración fue necesaria para la estación Sayago y Prado ya que Carrasco no cuenta con datos de tanque A. Con la muestra seleccionada se obtuvo un coeficiente de regresión (Kt) con la ordenada en el origen (a=0), con un coeficiente de determinación mayor a 0,5 en la estación Prado y mayor a 0,7 en la estación Sayago.

En la bibliografía se citan los siguientes valores de coeficientes de tanque estimados en base a evapotranspiración por el método de Penman y lectura de evaporación del tanque A. Esta tabla de valores fue realizada por Corsi (1988) en el I.N.I.A, La Estanzuela y ha sido citada por Agorio, Cardellino, Franco, Corsi (1988). Actualmente éstos coeficientes son usados en el curso de Agrometeorología de la Facultad de Agronomía. I.N.I.A. las Brujas (1994) también estimó coeficientes de tanque que se detalló en la tabla.

Meses	Coefficientes de tanque
Enero	0,58
Febrero	0,58
Marzo	0,56
Abril	0,49
Mayo	0,43
Junio	0,39
Julio	0,39
Agosto	0,48
Setiembre	0,59
Octubre	0,59
Noviembre	0,58
Diciembre	0,54

Fuente: Corsi (1988)

Meses	Kt	Valor máximo	Valor mínimo	Desvío estándar
Enero	0,7	0,8	0,6	0,03
Febrero	0,8	1	0,6	0,09
Marzo	0,7	0,8	0,6	0,06
Abril	0,6	0,9	0,5	0,09
Mayo	0,6	0,7	0,5	0,08
Junio	0,6	0,7	0,4	0,09
Julio	0,6	0,8	0,3	0,13
Agosto	0,6	0,7	0,5	0,06
Setiembre	0,7	0,9	0,6	0,07
Octubre	0,7	0,8	0,6	0,07
Noviembre	0,8	0,9	0,5	0,07
Diciembre	0,7	0,8	0,7	0,04

Período comprendido 1/1/75 – 1/12/89

Fuente: INIA – Uruguay; serie de difusión n° 26 – (1994)

4.- método de Priestley Taylor

$$ETP = \alpha \frac{S}{S + \gamma} (R_n + G)$$

ETP - evapotranspiración potencial mm/cm²/día

α - relación ETP / ET_{equilibrio}

S - pendiente de la curva de presión de vapor y temperatura media (anexo; ec. 11)

γ - constante psicrométrica (kPa / °C) (anexo; ec. 12)

R_n- radiación neta (MJ /m²/día) (anexo; ec. 19)

G - flujo de calor del suelo (MJ /m²/día)- se desprecia

En las estaciones bajo estudio se utilizó la metodología de cálculo del coeficiente de regresión entre el término radiación de la ecuación de Priestley Taylor y la estimación por la ecuación de Penman Monteith recomendado (Burman y Pochop, 1994). Se halló para cada año un coeficiente de regresión anual con la ordenada en el origen (a=0). Ver cuadro 3.

6. método de Penman - FAO

$$ETP = \frac{p_o \Delta \left[0.75 * R_a \left(a + b \frac{n}{N} \right) - \sigma * T_k^4 \left(0.56 - 0.079 \sqrt{e_p} \left(0.1 + 0.9 \frac{n}{N} \right) \right) \right] + 0.26(e_a - e_d)(1 + 0.54U)}{p \gamma + 1}$$

E_T - evapotranspiración potencial (mm/día)

p_o - presión atmosférica promedio expresada en milibares al nivel del mar

p - presión atmosférica media en función de la altitud de la estación meteorológica (anexo: ec. 4)

Δ - tasa de cambio de la presión saturante del vapor a la temperatura media (Mb/°C) (anexo pág. 103)

γ - coeficiente psicrométrica - 0,660

0,75 - factor que expresa la reducción de la radiación de onda corta con un albedo de 0,25.

R_a - radiación astronómicamente posible (mm de agua evaporable) (anexo; ec. 15)

a y b - coeficientes: a=0,21; b=0,56 (Burgos, Corsi, 1978)

n - duración de la insolación (hs)

N - duración de la insolación astronómicamente posible (hs.)

$\sigma \cdot T_k^4$ - radiación de cuerpo negro expresado en mm de agua evaporable para la temperatura media en °K (anexo; ec. 18)

- e_a – presión saturante del vapor promedio (Mb) (anexo, ec. 8 y ec. 10)
- e_d - presión de vapor (Mb) (anexo; ec. 7)
- T ° C – temperatura media del aire (°C) (anexo; ec 1)
- T ° K – temperatura del aire (anexo; ec. 2)
- U – velocidad del viento a 2m de altura (m/s)
- 0,54- coeficiente de ajuste del viento según la amplitud térmica (anexo; pág. 103 y 104)

Penman FAO ha sido ampliamente usado como método de referencia en la estimación de evapotranspiración potencial. Es actualmente usado en el curso de Agrometeorología de la Facultad de Agronomía.

6.- método de Penman Monteith recomendado por FAO

$$E_{to} = \frac{0,408 * \Delta (R_n - G) + \gamma (900/T+273) * V_{2m} (e_a - e_d)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 V_{2m})}$$

$$\Delta + \gamma (1 + 0,34 V_{2m})$$

- E_{to} - evapotranspiración potencial del cultivo de referencia (mm/día)
- R_n - radiación neta (MJ /m²/día) (anexo; ec 19)
- G - flujo de calor del suelo (MJ/m²/día)
- T - temperatura media (°C) (anexo; ec 1)
- V_{2m} – viento a 2 m de altura (m/s)
- e_a – presión de vapor de saturación promedio (kPa) (anexo; ec. 9 y ec. 10)
- e_d - presión actual de vapor (kPa) (anexo; ec. 7)
- Δ – pendiente de la curva de presión de vapor (kPa / °C) (anexo; ec. 11)
- γ - constante psicrométrica (kPa / °C) (anexo; ec. 12)
- 900 - (kJ⁻¹ kg. k)

Penman Monteith es el método recomendado por los expertos en la reunión de la FAO (Smith, 1991) y por ello se establece como método de referencia para el análisis del presente trabajo.

Se detallan en el anexo los procedimientos para la obtención de los datos involucrados.

C.- ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

1. – Análisis gráfico

En primer término se realizó una planilla única con la información mensual de los resultados de los diferentes métodos de estimación de la evapotranspiración potencial entre los años 1981 – 1996 para cada estación meteorológica. A partir de estos datos fue posible confeccionar un gráfico de dispersión con los valores obtenidos para cada uno de los métodos en comparación con el método de Penman Monteith recomendado por FAO. Se realizó un control de calidad de la información descartando aquellos datos que se dispersaban notoriamente de la tendencia general; tal es el caso de los datos mensuales en el año 1981 en la estación Carrasco.

2. – Análisis estadístico

Se realizó una descripción estadística de los valores obtenidos. Con éste propósito se utilizó la metodología propuesta por Theil (1961) citado por Burgueño, Lázaro, Avedaño, Bertón, Garín, Perdomo, Pérez, Urchipía (1997) que analizó el promedio de las desviaciones cuadráticas de la diferencia entre dos métodos de estimación, esto es:

$$\frac{1}{n} \sum (X_i - Y_i)^2$$

donde X_i es la media mensual obtenida de cada uno de los métodos de estimación y Y_i es la media mensual obtenida por el método Penman Monteith recomendado.

Las desviaciones cuadráticas promedios se descomponen en tres fuentes de error

$$(X - Y)^2 + (S_x - S_y)^2 - 2(1 - r)S_x S_y$$

donde X_i representa la media, “S” el desvío estándar y “r” el coeficiente de correlación entre ambos métodos de estimación.

Las diferencias encontradas entre ambos métodos se explican de acuerdo a la partición realizada en:

$(X - Y)^2$: el primer término de la ecuación corresponde a diferencias en estimaciones promedio (sesgo)

$(S_x - S_y)^2$: el segundo término corresponde a diferencias con respecto a una relación 1:1 entre ambas medidas que son las diferencias debidas a regresión.

$2(1-r)S_x S_y$: el tercer término mide las variaciones por fuente de error aleatorio.

Esta información se presenta como porcentaje de contribución de cada componente al total de las diferencias encontradas.

Se realizó una prueba de hipótesis (“t” de Student) para comparar la media mensual de los métodos de estimación con el de referencia (sesgo) y una prueba de hipótesis (“F”) para comparar las varianzas (regresión) entre los mismos. Se estimó el coeficiente de regresión lineal simple para cada uno de los métodos de estimación con el método de referencia.

El análisis estadístico se realizó a nivel anual y mensual.

3. – Tablas de comportamiento

Se realizaron planillas mensuales de las variables que son fundamentales dentro de las fórmulas utilizadas. Se realizó una descripción estadística para todo el período considerado. Con el objetivo de utilizar estos parámetros como herramienta para evaluar el comportamiento de los diferentes métodos, en cada una de las estaciones (anexo; desde pág. 106). Los elementos seleccionados fueron: viento, temperatura máxima y mínima, déficit de presión de vapor, radiación neta y amplitud térmica.

4. – Validación de los métodos

Aquellos métodos que empleando menos variables climáticas presentaron un comportamiento aproximado al de Penman Monteith recomendado, se le hicieron los ajustes necesarios y se les comparó estadísticamente con el método de referencia para su validación. Las Normas UNIT-ISO 9000:2000 definen la validación como la confirmación mediante el suministro de evidencia objetiva de que se ha cumplido los requisitos para una utilización o aplicación específica prevista.

Si en la validación se comprueba que el método ajustado posee un comportamiento próximo al recomendado por FAO, se estaría en condiciones de utilizarlo como método sustituto.

IV.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A.- PROCESAMIENTO PRELIMINAR DE LA INFORMACIÓN

1.- Viento

La función de ajuste que se obtuvo para el parámetro viento en la estación Carrasco es la siguiente:

$$y = 2,03 + 0,46 x$$

$$r^2 = 0,50$$

y – promedio de viento diario (m/s)

x - dato puntual de 9 hs.(m/s)

Debido a la estacionalidad que presenta la variable climática sería necesario realizar un ajuste mediante funciones a nivel estacional para mayor precisión.

1986 - Verano	2,96 + 0,31.	Viento 9h.	$r^2 = 0,43$
- Otoño	1,87 + 0,47.	Viento 9h.	$r^2 = 0,52$
- Invierno	2,13 + 0,53.	Viento 9h.	$r^2 = 0,73$
- Primavera	1,76 + 0,43.	Viento 9h.	$r^2 = 0,68$

1985 - Verano	2,37 + 0,40.	Viento 9h	$r^2 = 0,42$
- Otoño	1,31 + 0,59.	Viento 9h	$r^2 = 0,67$
- Invierno	1,90 + 0,42.	Viento 9h	$r^2 = 0,52$
- Primavera	3,15 + 0,19.	Viento 9 h	$r^2 = 0,09$

1991- Verano	1,73 + 0,53.	Viento 9h	$r^2 = 0,64$
- Otoño	1,39 + 0,57.	Viento 9h	$r^2 = 0,45$
- Invierno	1,45 + 0,67.	Viento 9h	$r^2 = 0,76$
- Primavera	3,15 + 0,19.	Viento 9h	$r^2 = 0,05$

1992 - Verano	3,12 + 0,19.	Viento 9h	$r^2 = 0,11$
- Otoño	2,65 + 0,24.	Viento 9h	$r^2 = 0,67$
- Invierno	1,07 + 0,70.	Viento 9h	$r^2 = 0,85$
- Primavera	2,17 + 0,41.	Viento 9h.	$r^2 = 0,53$

En otoño y en invierno de todos los años seleccionados se encontró un comportamiento semejante pero no en verano y primavera que poseen correlación

variable y baja. Se optó por la ecuación inicial de ajuste a nivel anual y se hace constar la necesidad de un mayor estudio en el tema.

2. Coeficientes de Tanque A

Según la metodología descrita en materiales y métodos, se obtuvo los siguientes cuadros 1 y 2 con los coeficientes de tanque A hallados para estación Sayago y Prado.

Cuadro 1- Coeficientes de tanque A para estación Sayago

Meses	Coeficientes de Tanque	Correlación
Enero	0,66	0,75
Febrero	0,66	0,46
Marzo	0,65	0,64
Abril	0,68	0,71
Mayo	0,60	0,69
Junio	0,54	0,67
Julio	0,57	0,59
Agosto	0,61	0,59
Setiembre	0,65	0,74
Octubre	0,67	0,59
Noviembre	0,67	0,61
Diciembre	0,67	0,37

Cuadro 2 – Coeficientes de tanque A para estación Prado

Meses	Coeficientes de tanque A	Correlación
Enero	0,74	0,64
Febrero	0,74	0,57
Marzo	0,72	0,54
Abril	0,65	0,36
Mayo	0,6	0,4
Junio	0,58	0,53
Julio	0,61	0,49
Agosto	0,65	0,53
Setiembre	0,66	0,3
Octubre	0,71	0,6
Noviembre	0,73	0,59
Diciembre	0,75	0,53

3.- Coeficientes α en la ecuación de Priestley Taylor

Siguiendo la metodología descrita en materiales y métodos, se halló para cada una de las estaciones y cada año del período 1981-1996, los coeficiente de regresión anual (α) que se detallan en el cuadro 3.

Cuadro 3 - Coeficiente de regresión anual α

Estación Carrasco			Estación Prado			Estación Sayago		
	α	Correlación		α	correlación		α	correlación
			81	1,11	0,77	81	1,21	0,78
82	1,29	0,74	82	1,23	0,87	82	1,22	0,84
83	1,24	0,78	83	1,20	0,88	83	1,21	0,84
84	1,29	0,69	84	1,17	0,89	84	1,19	0,85
85	1,27	0,71	85	1,17	0,89	85	1,19	0,82
86	1,32	0,66	86	1,20	0,88	86	1,20	0,85
87	1,06	0,93	87	1,21	0,84	87	1,15	0,86
88	1,19	0,86	88	1,25	0,86	88	1,13	0,92
89	1,22	0,84	89	1,25	0,86	89	1,10	0,93
90	1,28	0,70	90	1,18	0,84	90	1,15	0,85
91	1,19	0,65	91	1,15	0,89	91	1,19	0,88
92	1,26	0,64	92	1,13	0,83	92	1,19	0,82
93	1,25	0,73	93	1,25	0,76	93	1,16	0,88
94	1,25	0,70	94	1,30	0,77	94	1,16	0,89
95	1,27	0,71	95	1,20	1,00	95	1,20	0,85
96	1,29	0,62	96	1,20	1,00	96	1,17	0,86

En la estación Carrasco el coeficiente α osciló entre 1,06 y 1,32 con una media de 1,24 ; en Prado 1,11- 1,30 con una media de 1,20 y en Sayago osciló entre 1,10 y 1,22 con una media de 1,17. En todos los años y estaciones los valores de correlación son altos.

Se requiere un estudio estadístico comparativo de los valores hallados de α en las tres estaciones y el coeficiente $\alpha = 1,26$ de Priestley Taylor para saber su grado de ajuste.

B. ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS DIFERENTES MÉTODOS

1 Estación Prado

a. Análisis anual

Se realizó un estudio estadístico comparativo anual entre los diferentes métodos seleccionados de estimación de ETP y el método de referencia Penman Monteith que se presenta en el cuadro 4.

Cuadro 4 – Análisis estadístico comparativo anual de los diferentes métodos de estimación de ETP.

	Papadakis	Penman	Linacre	P. Taylor	P. Taylor aj.	Tanque A
Error total	3,48	0,03	0,60	0,10	0,13	0,32
Sesgo						
Regresión	74	0,4	5	22	0,01	54
Error	3	64	7	39	57	1
	23	35	88	39	43	45
Correlación	0,86	0,99	0,87	0,99	0,98	0,97
Pendiente	1,21	1,09	0,87	1,12	1,17	0,96
F máxima	1,45	1,18	1,32	1,27	1,39	1,06
Alfa	0,005	0,126	0,028	0,052	0,012	0,337
Dif. Medias	1,607	0,011	0,18	-0,14	0,004	-0,41
Alfa	0,000	0,34	0,00115	0,000	0,879	0,000
Media	4,70	3,10	3,27	2,94	3,09	2,71
Varianza	2,42	2,86	1,83	3,07	3,36	2,29
Desvío Estándar	1,56	1,68	1,35	1,74	1,83	1,51
C.V.	33	54	41	59	59	56

Del cuadro 4 se desprende que el método más ajustado al método de referencia es el de Penman FAO. Presenta un menor error total, con una pendiente ligeramente superior a 1, indicando que subestima a bajos valores y sobrestima a altos valores de ETP de ésta manera se confirmó que a la regresión le corresponde el mayor porcentaje de error total. La prueba de F máxima no permitió encontrar diferencia entre las varianzas de ambos métodos, ($p>0,05$). No se encontraron diferencias entre las medias, ($p>0,05$).

El método de Papadakis tuvo un mayor error total comparado con el método de referencia, de donde el 74% correspondió a un sesgo. La pendiente mayor que 1 indicó que el método sobrestima. Por otra parte la diferencia de medias fue significativa con un 95 % de confianza.

El método de Linacre presentó bajo coeficiente de variación con un 88% del error total correspondiente al error aleatorio. La pendiente menor a 1, indica que sobrestima a bajos valores y subestima a altos valores de ETP. La prueba de F máxima indica que las varianzas de ambos métodos son diferentes, ($p < 0,05$). Es decir, el método de Linacre y el de Penman Monteith recomendado presenta diferente variabilidad. El cuadro 4 muestra una diferencia de medias significativa, ($p < 0,05$).

El método de Priestley Taylor presentó un bajo error total distribuido homogéneamente entre sesgo, regresión y error aleatorio. El método presentó alto coeficiente de variación y la pendiente mayor a 1. La prueba de F máxima indica que las varianzas de ambos métodos son iguales con un 95% de confianza, mientras que las medias de ambos métodos es distinta ($p < 0,05$).

El método de Priestley Taylor ajustado tuvo bajo error total distribuido entre regresión y error aleatorio, con una pendiente mayor a 1. Las varianzas de los métodos comparados es diferente ($p < 0,05$). No hay diferencia significativa entre las medias ($p > 0,05$).

El método de Tanque A presentó un error total medio distribuido entre sesgo y error aleatorio, con una pendiente menor a 1 y un alto coeficiente de variación. La prueba de F máxima indica que la varianza de ambos métodos es igual con un 95% de confianza. Las medias son estadísticamente diferentes ($p < 0,05$).

El comportamiento de los diferentes métodos de estimación de ETP con respecto al método de referencia se presentan en los gráficos 1 al 6.

Gráfico 1- Dispersión de los datos de estimación de ETP por el método de Papadakis con respecto a Penman Monteith recomendado (recta 1:1)

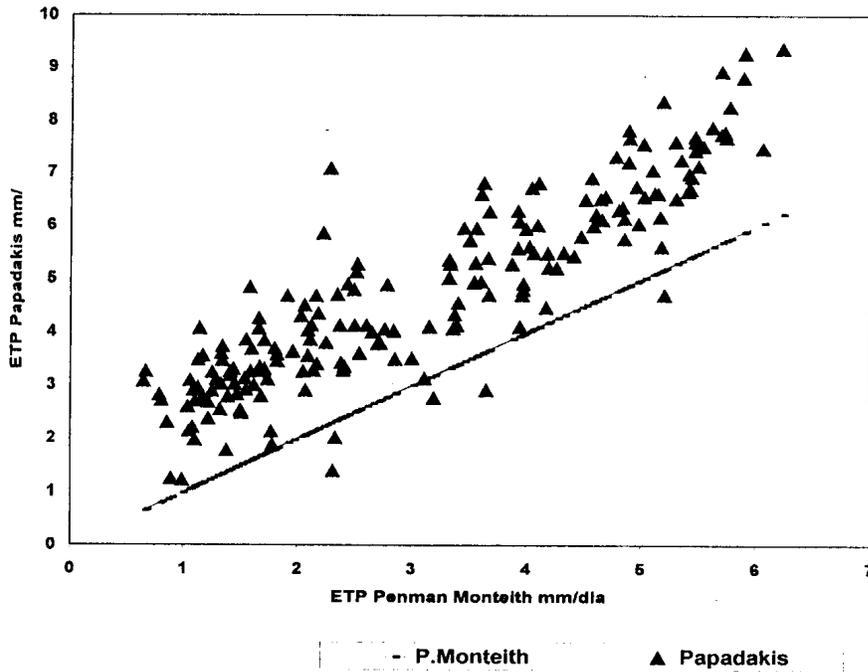


Gráfico 2- Dispersión de los datos de estimación de ETP por el método de Penman FAO con respecto al método de Penman Monteith recomendado (recta 1:1).

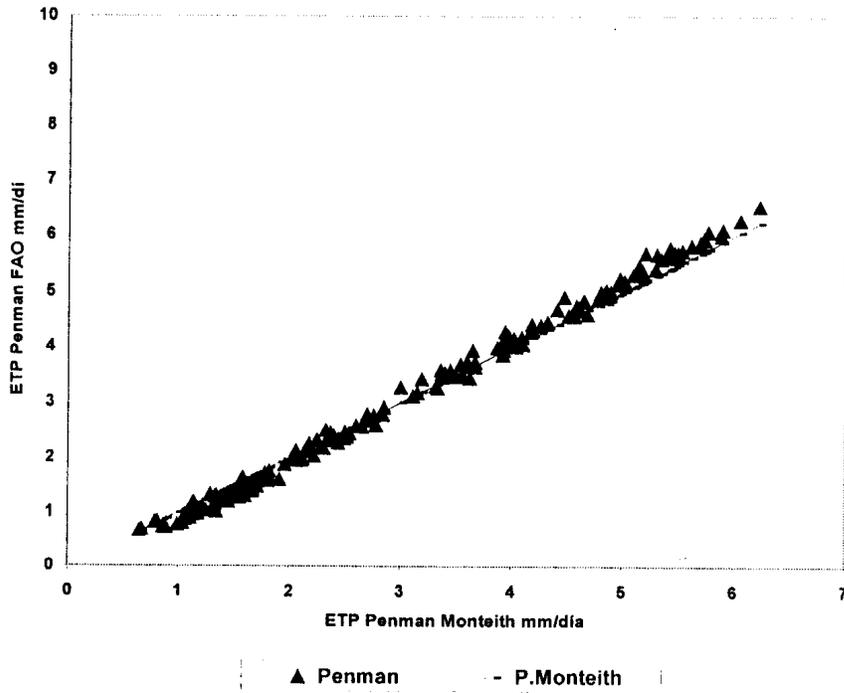


Gráfico 3 – Dispersión de los datos de estimación de ETP por el método de Linacre con respecto al método Penman Monteith recomendado (recta 1:1)

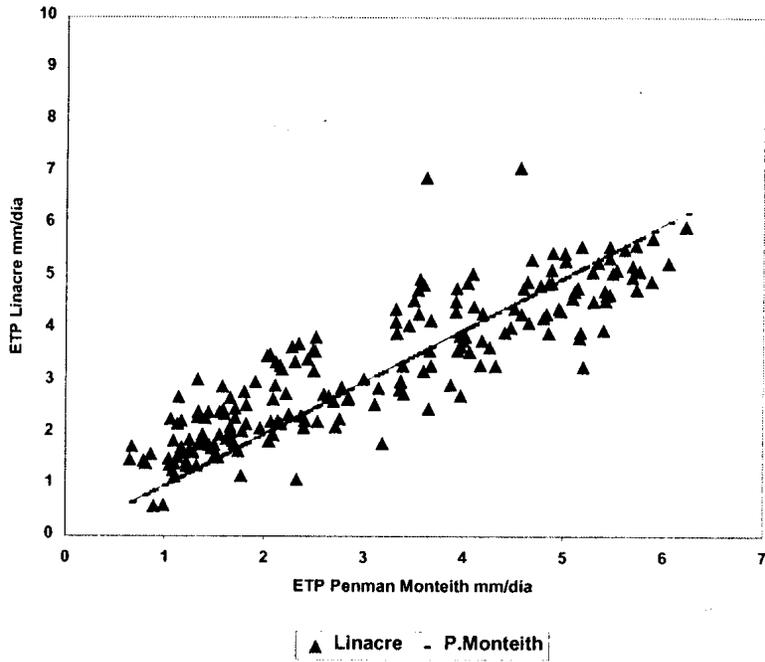


Gráfico 4 - Dispersión de los datos de estimación de ETP por el método de Priestley Taylor con respecto al método Penman Monteith recomendado (recta 1:1)

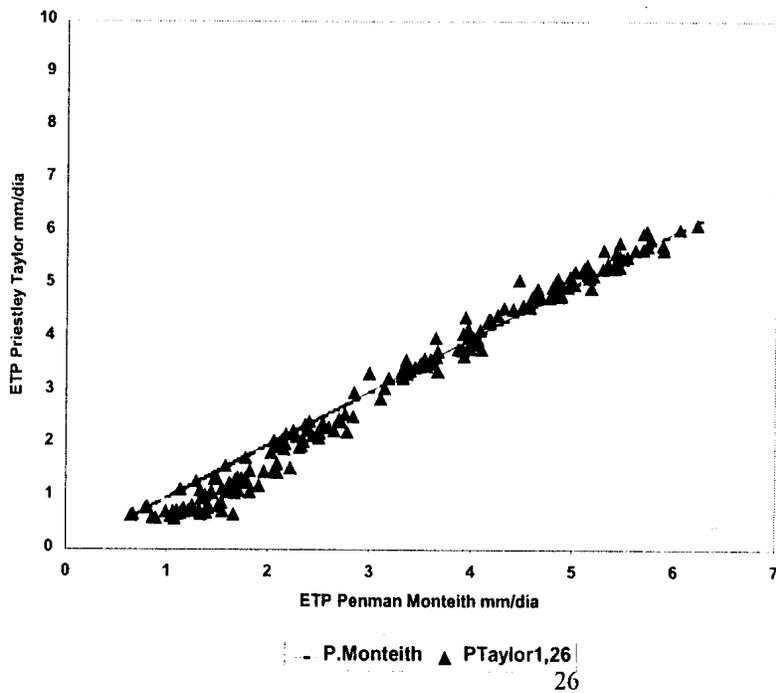


Gráfico 5.- Dispersión de los datos de estimación de la ETP por el método de Priestley Taylor ajustado con respecto al método Penman Monteith recomendado (recta 1 :1)

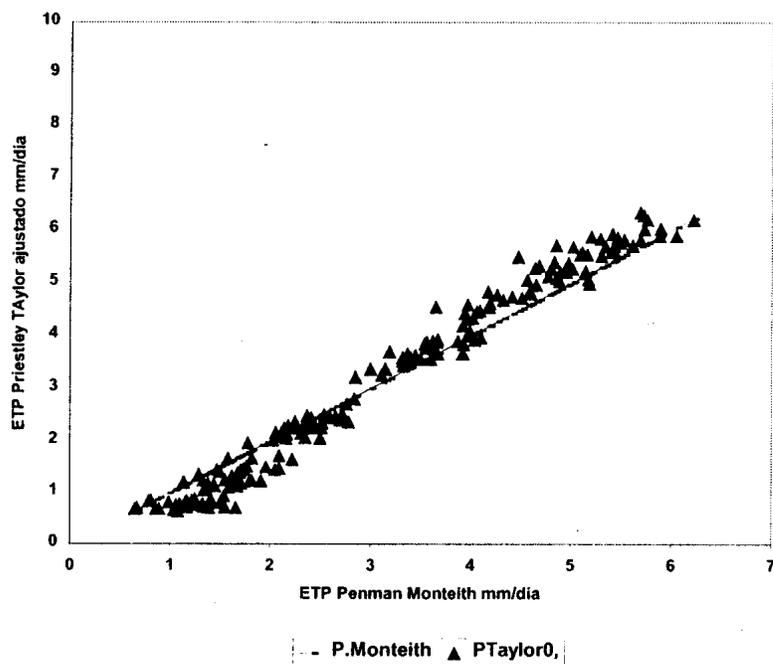
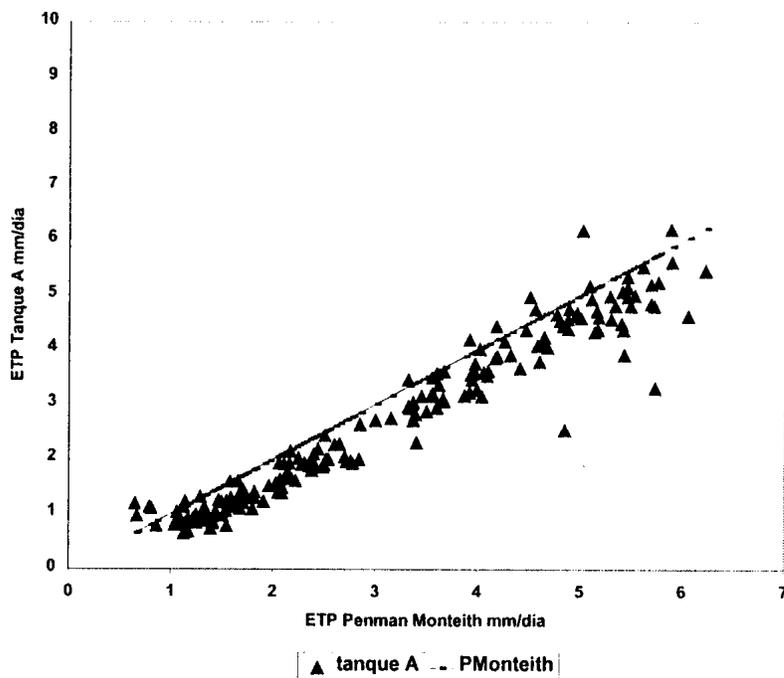


Gráfico 6 – Dispersión de los datos de estimación de la ETP por el método Tanque A con respecto al método de Penman Monteith recomendado (recta 1:1)



b. Análisis mensual

En los cuadros siguientes (del 5 al 10) se detalla la partición mensual del error total que se halló entre los diferentes métodos de estimación y el método de referencia con el valor correlación, pendiente y diferencia en las medias con su nivel de significancia.

b.1 Método de Papadakis

El cuadro 5 detalla el análisis estadístico mensual. No se incluyó el nivel de significancia porque la diferencia entre las medias es relevante.

Cuadro 5 – Partición de las diferencias, diferencia de medias, correlación y pendientes mensuales entre las estimaciones de ETP de Papadakis y Penman Monteith recomendado

	Total	Sesgo	Regresión	Error	Dif de medias	Correlación	Pendiente
Enero	4,80	0,91	0,08	0,01	2,09	0,93	2,86
Febrero	4,74	0,92	0,05	0,02	2,09	0,84	2,20
Marzo	5,32	0,83	0,13	0,03	2,10	0,69	3,75
Abril	5,76	0,72	0,22	0,06	2,03	0,46	4,48
Mayo	4,48	0,89	0,06	0,05	1,99	0,30	2,13
Junio	3,31	0,87	0,06	0,07	1,69	0,40	2,05
Julio	2,36	0,86	0,07	0,07	1,43	0,37	2,12
Agosto	3,31	0,77	0,15	0,08	1,59	0,46	3,05
Setiembre	1,46	0,76	0,13	0,11	1,05	0,77	2,80
Octubre	1,43	0,60	0,29	0,11	0,92	0,77	2,79
Noviembre	1,49	0,50	0,34	0,17	0,85	0,77	2,40
Diciembre	3,42	0,64	0,22	0,14	1,47	0,53	2,66

En el análisis mensual se mantiene el grado de error total y el mayor porcentaje perteneciente al sesgo que varía entre el 50-92% del error total. La pendiente es mayor a 1, indicando sobrestimación a través de todo el año, con una diferencia de medias significativa ($p < 0,05$).

b.2 Método de Penman- FAO

En el cuadro 6 se presenta el análisis estadístico comparativo mensual entre el método de estimación de Penman FAO y el método de referencia.

Cuadro 6 –Partición de las diferencias, diferencia de medias, correlación y pendientes mensuales entre las estimaciones de ETP de Penman FAO y Penman Monteith recomendado

	Total	Sesgo	Regresión	Error	Dif de medias	Alfa	Correlación	Pendiente
Enero	0,04	0,86	0,03	0,10	0,193	0,000	0,98	1,11
Febrero	0,02	0,57	0,03	0,39	0,100	0,001	0,98	1,05
Marzo	0,01	0,03	0,03	0,94	-0,015	0,500	0,96	1,05
Abril	0,01	0,57	0,04	0,39	-0,088	0,000	0,95	0,90
Mayo	0,05	0,75	0,09	0,16	-0,188	0,000	0,89	0,70
Junio	0,03	0,74	0,07	0,19	-0,154	0,000	0,95	0,83
Julio	0,03	0,77	0,02	0,21	-0,143	0,000	0,93	0,88
Agosto	0,02	0,70	0,03	0,27	-0,108	0,000	0,96	0,91
Setiembre	0,01	0,01	0,05	0,94	0,006	0,730	0,95	0,93
Octubre	0,02	0,65	0,01	0,34	0,113	0,000	0,97	0,96
Noviembre	0,04	0,90	0	0,10	0,191	0,000	0,99	0,99
Diciembre	0,07	0,87	0,01	0,12	0,249	0,000	0,97	0,97

El método de Penman FAO posee un bajo error total, alta correlación, pendiente próxima a 1, a través de todo el año. En los meses en que las medias son estadísticamente diferentes ($p < 0,05$), el mayor porcentaje del error pertenece al sesgo. En marzo y en setiembre no hay diferencias significativas entre las medias ($p > 0,05$) y el mayor porcentaje del error pertenece al error aleatorio.

b.3 Método de Linacre

En el cuadro 7 se observa el desglose del error total, correlación, diferencia en la media y pendiente a nivel mensual entre el método de estimación de Linacre y el método recomendado.

Cuadro 7 – Partición de las diferencias, diferencia de medias con valores de significancia, correlación y pendientes mensuales entre las estimaciones de ETP de Linacre y Penman Monteith recomendado.

	Total	Sesgo	Regresión	Error	Dif de medias	Alfa	Correlación	Pendiente
Enero	0,22	0,42	0,02	0,56	-0,307	0,007	0,54	1,18
Febrero	0,68	0,29	0,09	0,62	0,442	0,032	0,24	1,25
Marzo	1,31	0,56	0,22	0,21	0,863	0,000	0,41	2,25
Abril	1,20	0,88	0,02	0,09	1,029	0,000	0,42	1,49
Mayo	0,97	0,87	0,01	0,11	0,922	0,000	0,26	1,23
Junio	0,50	0,71	0,05	0,24	0,599	0,000	0,49	1,43
Julio	0,21	0,52	0,10	0,39	0,326	0,001	0,46	1,49
Agosto	0,23	0,26	0,16	0,57	0,246	0,034	0,41	1,51
Setiembre	0,15	0,20	0,12	0,67	-0,174	0,071	0,39	1,38
Octubre	0,37	0,59	0,02	0,38	-0,469	0,000	0,53	1,22
Noviembre	0,59	0,75	0,00	0,25	-0,663	0,000	0,66	0,91
Diciembre	0,67	0,66	0,02	0,31	-0,666	0,001	0,53	1,24

En setiembre Linacre no presenta diferencia significativa en las medias ($p > 0,05$), el error total mensual es bajo y pertenece al error aleatorio en un 67%. En los meses restantes, hay diferencia significativa entre las medias; el error total mensual es mayor perteneciendo en mayor porcentaje al sesgo con excepción de enero, febrero, agosto y setiembre en que pertenece al error aleatorio entre 56 y 67%.

b.4 Método de Priestley Taylor

En el cuadro 8 se detalla el análisis estadístico comparativo mensual entre el método de estimación de Priestley Taylor y el método de referencia.

Cuadro 8- Partición de las diferencias, diferencia de medias con valores de significancia, correlación y pendientes mensuales entre las estimaciones de ETP de Priestley Taylor y Penman Monteith recomendado.

	Total	Sesgo	Regresión	Error	Dif de medias	Alfa	Correlación	Pendiente
Enero	0,03	0,15	0,07	0,78	0,07	0,14	0,85	0,85
Febrero	0,01	0,11	0,03	0,86	0,04	0,21	0,96	0,95
Marzo	0,03	0,34	0,00	0,66	-0,09	0,01	0,89	0,98
Abril	0,07	0,70	0,11	0,19	-0,23	0,00	0,8	0,63
Mayo	0,21	0,80	0,11	0,09	-0,41	0,00	0,43	0,41
Junio	0,27	0,76	0,20	0,04	-0,46	0,00	0,48	0,18
Julio	0,22	0,83	0,11	0,06	-0,42	0,00	0,43	0,32
Agosto	0,17	0,77	0,12	0,11	-0,36	0,00	0,66	0,46
Setiembre	0,05	0,67	0,04	0,29	-0,18	0,00	0,83	0,82
Octubre	0,02	0,01	0,30	0,69	0,01	0,67	0,93	0,78
Noviembre	0,04	0,58	0,11	0,31	0,16	0,00	0,96	0,86
Diciembre	0,04	0,33	0,12	0,55	0,12	0,01	0,91	0,82

El cuadro indica que el método Priestley Taylor presenta diferencias significativas en las medias ($p < 0,05$) comparado con el de referencia; a excepción de los meses de enero, febrero y octubre ($p > 0,05$). La correlación varía entre 0,43 y 0,96, siendo menor en los meses de mayo, junio y julio. En estos meses el error total es mayor y pertenece en mayor proporción al sesgo. En los meses restantes, el error total es menor y corresponde al error aleatorio en mayor porcentaje.

b.5 Método de Priestley Taylor ajustado

En el cuadro 9 se detalla a nivel mensual el análisis estadístico comparativo entre el método de estimación de la ETP de Priestley Taylor ajustado y el de referencia.

Cuadro 9 – Partición de las diferencias, diferencia de medias con valores de significancia, correlación y pendientes mensuales entre las estimaciones de ETP de Priestley Taylor ajustado y Penman Monteith recomendado.

	Total	Sesgo	Regresión	Error	Dif de medias	Alfa	Correlación	Pendiente
Enero	0,18	0,66	0,06	0,28	0,35	0,00	0,67	0,71
Febrero	0,10	0,67	0,02	0,31	0,26	0,00	0,89	0,88
Marzo	0,04	0,23	0,09	0,67	0,09	0,05	0,79	0,79
Abril	0,05	0,30	0,33	0,36	-0,12	0,02	0,69	0,5
Mayo	0,17	0,73	0,16	0,11	-0,35	0,00	0,27	0,44
Junio	0,25	0,71	0,23	0,05	-0,42	0,00	0,31	0,21
Julio	0,19	0,78	0,13	0,09	-0,38	0,00	0,2	0,49
Agosto	0,12	0,64	0,14	0,22	-0,28	0,00	0,53	0,52
Setiembre	0,02	0,21	0,13	0,66	-0,05	0,06	0,87	0,8
Octubre	0,06	0,66	0,02	0,31	0,20	0,00	0,91	0,88
Noviembre	0,20	0,76	0,07	0,16	0,39	0,00	0,9	0,75
Diciembre	0,23	0,73	0,11	0,16	0,41	0,00	0,82	0,63

El cuadro indica que en marzo y en setiembre no hay diferencias significativas entre las medias ($p > 0,05$), los valores de error total mensual son más bajos y pertenecen en mayor porcentaje al error aleatorio. En los meses restantes hay diferencias significativas entre las medias ($p < 0,05$), el error mensual es más alto; pertenece en general, en mayor porcentaje al sesgo, con excepción de abril. Las correlaciones mensuales son altas salvo en los meses de mayo, junio y julio.

b.6. Método de Tanque A

El cuadro 10 presenta el análisis estadístico comparativo mensual entre el método de estimación de Tanque A y el de referencia.

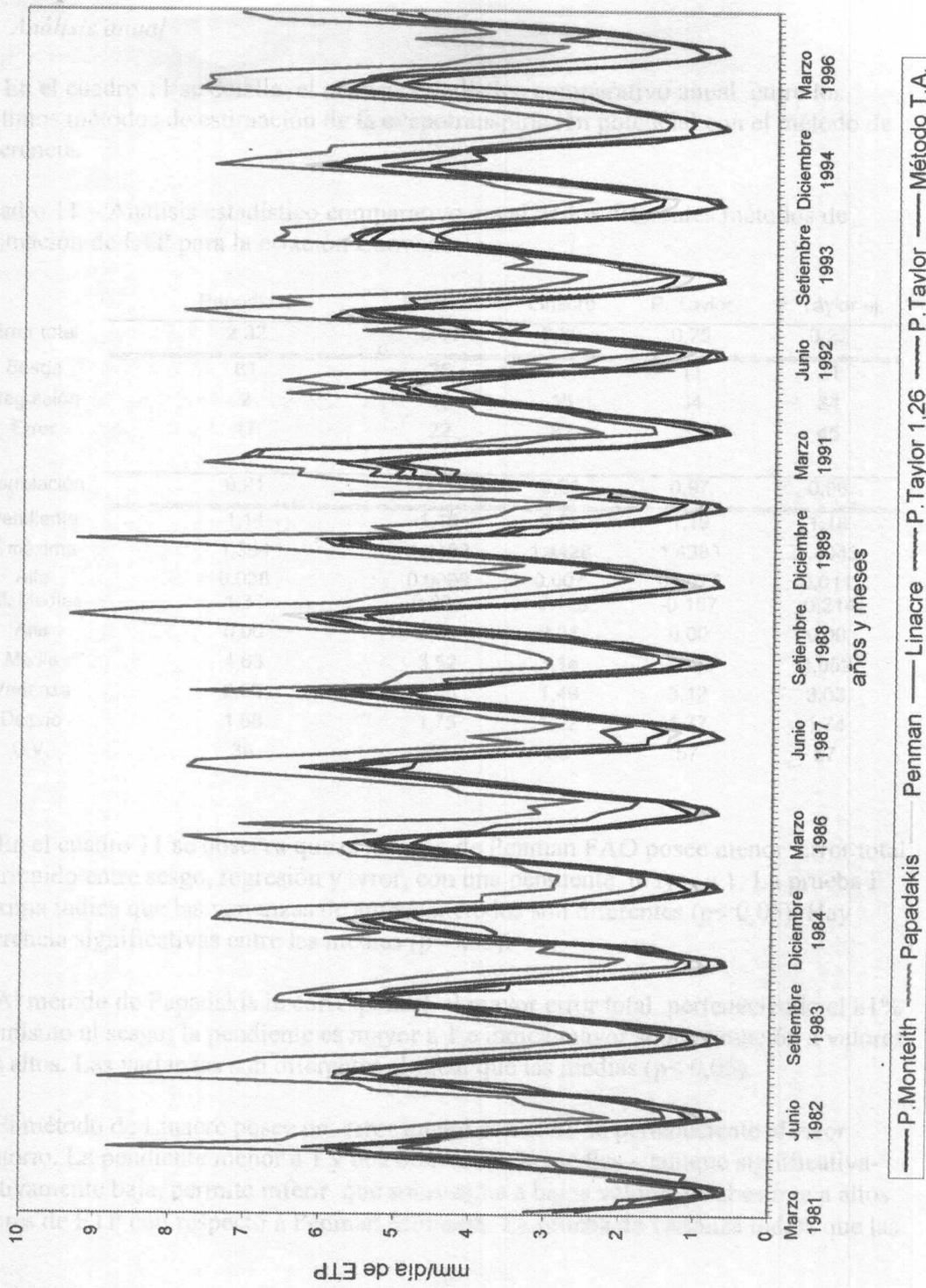
Cuadro 10- Partición de las diferencias, diferencia de medias con valores de significancia, correlación y pendientes mensuales entre las estimaciones de ETP por el método Tanque A y Penman Monteith recomendado.

	Total	Sesgo	Regresión	Error	Dif de medias	Alfa	Correlación	Pendiente
Enero	0,52	0,34	0,13	0,52	-0,42	0,016	0,32	1,42
Febrero	0,26	0,55	0,02	0,42	-0,37	0,000	0,74	1,17
Marzo	0,19	0,52	0,02	0,45	-0,31	0,001	0,49	1,21
Abril	0,22	0,81	0,00	0,19	-0,42	0,000	0,52	0,98
Mayo	0,15	0,70	0,02	0,27	-0,33	0,000	0,45	0,78
Junio	0,18	0,38	0,09	0,53	-0,25	0,011	-0,13	-0,84
Julio	0,16	0,57	0,08	0,35	-0,29	0,001	-0,34	-0,6
Agosto	0,24	0,79	0,05	0,16	-0,43	0,000	0,52	0,64
Setiembre	0,28	0,83	0,01	0,15	-0,48	0,000	0,46	0,78
Octubre	0,34	0,86	0,00	0,13	-0,54	0,000	0,8	0,94
Noviembre	0,59	0,46	0,01	0,53	-0,52	0,003	0,34	1,08
Diciembre	0,74	0,49	0,01	0,50	-0,60	0,002	0,16	1,06

Las medias son estadísticamente diferentes ($p < 0,05$) a través de todo el año. Presenta un coeficiente de correlación variable; e incoherente en junio y julio con un error total menor en los meses invernales perteneciente al sesgo en mayor porcentaje y en junio en particular al error aleatorio. En los meses estivales presenta un error total mayor y son debidos al sesgo y/o error aleatorio en mayor proporción.

El gráfico 7 detalla el comportamiento de los diferentes métodos de estimación de la ETP, analizados en el presente trabajo para la estación Prado.

Gráfico 7. Comportamiento de los diferentes métodos de estimación de la ETP para estación Prado



2. Estación Carrasco

a. Análisis anual

En el cuadro 11 se detalla el análisis estadístico comparativo anual entre los distintos métodos de estimación de la evapotranspiración potencial con el método de referencia.

Cuadro 11 – Análisis estadístico comparativo anual de los diferentes métodos de estimación de ETP para la estación Carrasco.

	Papadakis	Penman	Linacre	P. Taylor	P. Taylor aj.
Error total	2,32	0,18	0,39	0,25	0,22
Sesgo	81	35	4	11	21
Regresión	2	43	15	34	34
Error	17	22	81	55	45
Correlación	0,91	0,99	0,91	0,97	0,98
Pendiente	1,14	1,19	0,83	1,19	1,18
F máxima	1,304	1,4182	1,4428	1,4383	1,4043
Alfa	0,038	0,0099	0,007	0,0077	0,011
Dif. Medias	1,37	0,253	-0,123	-0,167	-0,214
Alfa	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
Media	4,63	3,52	3,14	3,099	3,052
Varianza	2,82	3,06	1,49	3,12	3,03
Desvío	1,68	1,75	1,22	1,77	1,74
C.V.	36	50	39	57	57

En el cuadro 11 se observa que el método de Penman FAO posee menor error total, distribuido entre sesgo, regresión y error, con una pendiente mayor a 1. La prueba F máxima indica que las varianzas de ambos métodos son diferentes ($p < 0,05$). Hay diferencia significativas entre las medias ($p < 0,05$).

Al método de Papadakis le correspondió el mayor error total perteneciendo el 81% del mismo al sesgo; la pendiente es mayor a 1 e indica mayor sobrestimación a valores más altos. Las varianzas son diferentes al igual que las medias ($p < 0,05$).

El método de Linacre posee un error medio con el 81 % perteneciente al error aleatorio. La pendiente menor a 1 y una diferencia de medias – aunque significativa-relativamente baja, permite inferir que sobrestima a bajos valores y subestima a altos valores de ETP con respecto a Penman Monteith. La prueba de varianza indica que las

mismas son diferentes entre métodos. Presenta diferencias significativas entre las medias con un 95 % de confianza.

El método de Papadakis y el de Linacre son los que presentan menor coeficiente de variación y bajo desvío estándar con respecto al método de Penman Monteith; son los métodos más precisos.

El método de Priestley Taylor presenta bajo error total distribuido entre regresión (34%) y error aleatorio (55%). Con un alto coeficiente de variación y pendiente mayor a 1. Las varianzas de ambos métodos al igual que las medias son estadísticamente diferentes con un 95 % de confianza.

El método de Priestley Taylor ajustado presentó alto coeficiente de variación, con bajo error total distribuido entre regresión (34%) y error aleatorio (45%). La prueba de varianza indica que las mismas son diferentes entre métodos y las medias son estadísticamente diferentes ($p < 0,05$).

En los gráficos 8 al 12 se observa el comportamiento descrito en los cuadros anteriores de cada uno de los métodos de estimación con respecto a Penman Monteith recomendado.

Gráfico 8- Dispersión de los datos de estimación de ETP por el método de Papadakis con respecto al método de Penman Monteith recomendado (recta 1:1)

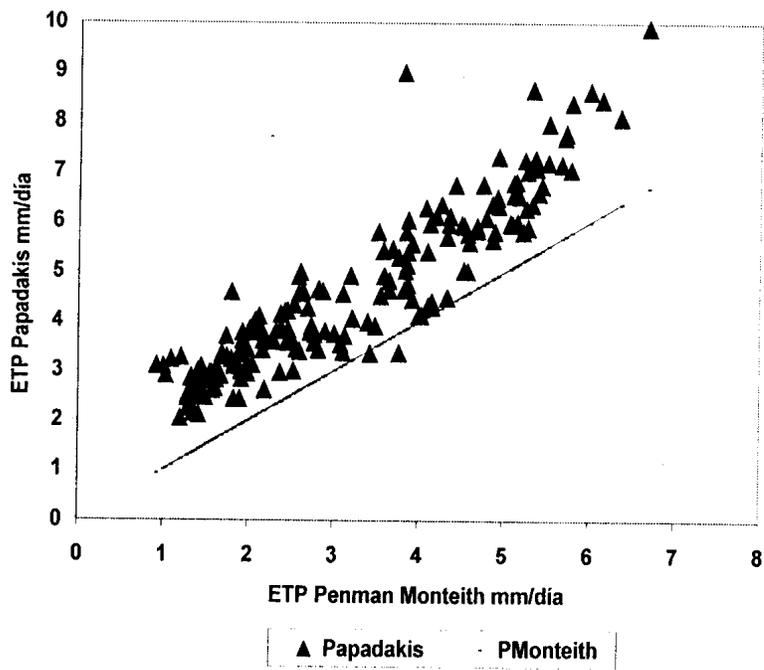


Gráfico 9 – Dispersión de los datos de estimación de ETP por el método de Penman-FAO con respecto al método Penman Monteith recomendado (recta 1:1)

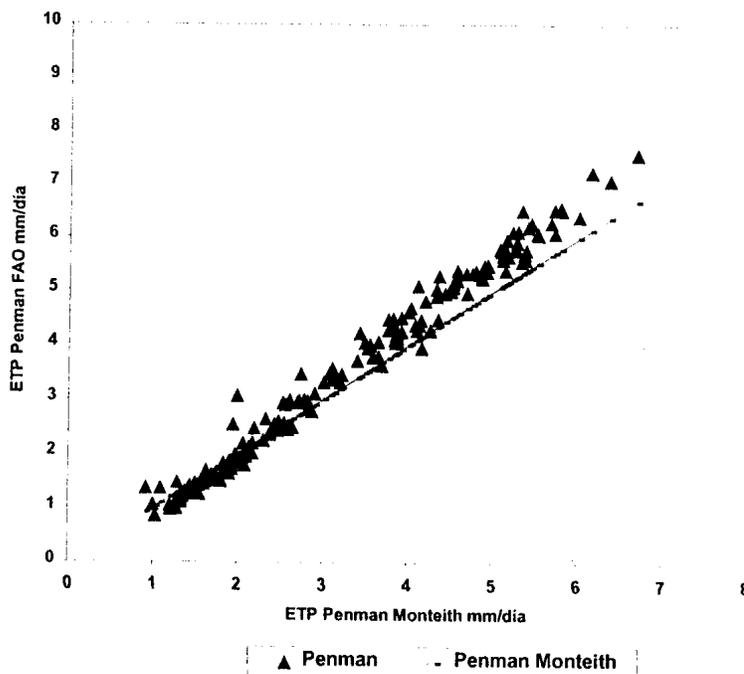


Gráfico 10 – Dispersión de los datos de estimación de ETP por el método de Linacre con respecto al método de Penman Monteith recomendado (recta 1:1)

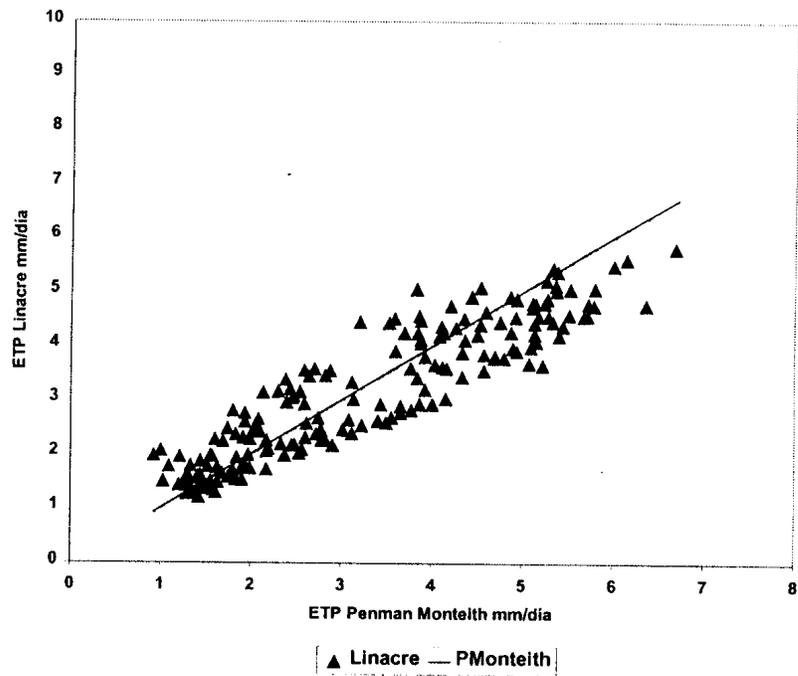


Gráfico 11 – Dispersión de los datos de estimación de ETP por el método de Priestley Taylor con respecto al método de Penman Monteith recomendado (recta 1:1)

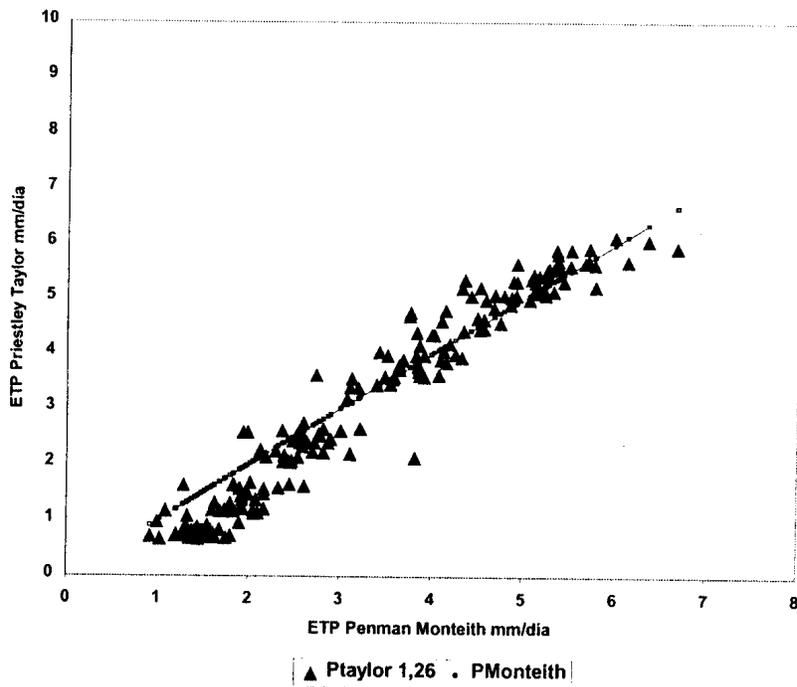
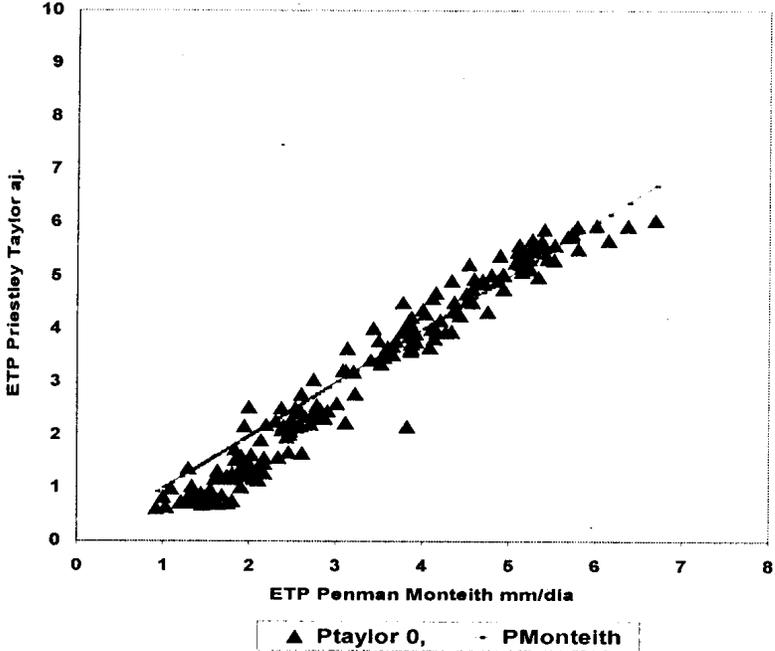


Gráfico 12- Dispersión de los datos de estimación de ETP por el método Priestley Taylor ajustado con respecto al método de Penman Monteith recomendado (recta 1:1)



b. Análisis mensual

Se realizó un análisis estadístico mensual entre los distintos métodos de estimación de ETP comparados con el método de referencia.

b.1 Método de Papadakis

En el cuadro 12 se detalla el análisis estadístico mensual entre el método de Papadakis comparado con el de referencia.

Cuadro 12 – Partición de las diferencias, diferencia de medias, correlación y pendientes mensuales entre las estimaciones de ETP por el método de Papadakis y Penman Monteith recomendado.

	Total	Sesgo	Regresión	Error	Dif de medias	Correlación	Pendiente
Enero	3,42	0,87	0,09	0,03	1,73	0,9	1,99
Febrero	4,84	0,75	0,09	0,15	1,91	0,45	1,86
Marzo	3,34	0,97	0,01	0,02	1,80	0,73	1,36
Abril	3,05	0,98	0,01	0,02	1,72	0,65	1,41
Mayo	3,05	0,95	0,01	0,04	1,70	0,48	1,42
Junio	2,20	0,93	0,01	0,06	1,43	0,32	1,33
Julio	1,65	0,94	0,01	0,05	1,25	0,26	1,26
Agosto	1,68	0,88	0,07	0,05	1,22	0,8	2,05
Setiembre	0,84	0,89	0,01	0,10	0,86	0,65	1,04
Octubre	0,67	0,73	0,08	0,19	0,72	0,77	1,53
Noviembre	0,93	0,63	0,24	0,12	0,77	0,86	2,01
Diciembre	2,18	0,82	0,11	0,07	1,33	0,78	2,21

En el análisis mensual se mantuvo el error total alto, perteneciendo al sesgo del 63 al 98% de ese error. La pendiente mayor a 1 y las diferencias significativas entre las medias ($p < 0,05$) marca sobrestimación en todos los meses.

b.2 Método de Penman –FAO

El cuadro 13 presenta el análisis estadístico mensual comparando los datos de estimación de Penman FAO y los del método de referencia.

Cuadro 13 – Partición de las diferencias, diferencia de medias, correlación y pendientes mensuales entre las estimaciones de ETP por el método de Penman FAO y Penman Monteith recomendado.

	Total	Sesgo	Regresión	Error	Dif de medias	Alfa	Correlación	Pendiente
Enero	0,40	0,91	0,03	0,05	0,60	0,00	0,97	1,21
Febrero	0,24	0,90	0,01	0,10	0,47	0,00	0,96	1,05
Marzo	0,07	0,67	0,03	0,29	0,22	0,00	0,90	1,15
Abril	0,01	0,02	0,23	0,74	0,02	0,62	0,92	1,24
Mayo	0,03	0,40	0,01	0,58	-0,12	0,01	0,86	0,92
Junio	0,05	0,37	0,01	0,62	-0,13	0,01	0,72	0,92
Julio	0,02	0,74	0,10	0,15	-0,12	0,00	0,95	0,78
Agosto	0,02	0,05	0,23	0,72	0,03	0,40	0,93	1,23
Setiembre	0,16	0,62	0,02	0,36	0,31	0,00	0,72	0,85
Octubre	0,25	0,77	0,00	0,23	0,44	0,00	0,83	1,00
Noviembre	0,40	0,93	0,00	0,07	0,61	0,00	0,94	1,04
Diciembre	0,54	0,90	0,00	0,10	0,70	0,00	0,85	1,09

Penman FAO presentó alta correlación a través de todo el año. En abril y agosto no hay diferencias significativas entre las medias ($p > 0,05$); coincidente con un menor error total mensual y perteneciendo éste en mayor porcentaje al error aleatorio. En los meses restantes hay diferencias significativas entre las medias ($p < 0,05$), el error total es más alto y le corresponde en general al sesgo en mayor porcentaje a excepción de mayo y junio que el error aleatorio tiene mayor proporción. Las pendientes son próximas a 1.

b.3 Método de Linacre

En el cuadro 14 se presenta el análisis estadístico mensual comparando los datos de estimación de ETP por el método de Linacre con los de referencia.

Cuadro 14- Partición de las diferencias, diferencia de medias, correlación y pendientes mensuales entre las estimaciones de ETP por el método de Linacre y Penman Monteith recomendado.

	Total	Sesgo	Regresión	Error	Dif de medias	alfa	Correlación	Pendiente
Enero	0,56	0,64	0,03	0,33	-0,602	0,00	0,62	0,8
Febrero	0,28	0,00	0,15	0,85	0,014	0,92	0,38	0,73
Marzo	0,31	0,54	0,01	0,44	0,408	0,00	0,1	0,95
Abril	0,52	0,91	0,00	0,09	0,689	0,00	0,52	0,9
Mayo	0,35	0,87	0,00	0,13	0,550	0,00	0,72	0,99
Junio	0,17	0,41	0,00	0,58	0,266	0,00	0,1	0,99
Julio	0,10	0,00	0,01	0,99	0,016	0,85	0,16	1,04
Agosto	0,06	0,18	0,00	0,82	-0,108	0,10	0,73	1,02
Setiembre	0,21	0,70	0,11	0,18	-0,380	0,00	0,71	0,57
Octubre	0,49	0,85	0,01	0,13	-0,650	0,00	0,76	0,82
Noviembre	0,88	0,89	0,01	0,10	-0,880	0,00	0,75	0,82
Diciembre	0,78	0,81	0,00	0,19	-0,790	0,00	0,55	1,05

En febrero, julio y agosto, la diferencia entre las medias no es significativa, ($p > 0,05$), el error total mensual es bajo y en mayor porcentaje corresponde al error aleatorio. En los meses en los que el error total es más alto la mayor parte corresponde al sesgo.

b.4 Método de Priestley Taylor

En el cuadro 15 se detalla el análisis estadístico mensual comparando los datos de estimación de ETP por el método de Priestley Taylor y el método de referencia.

Cuadro 15- Partición de las diferencias, diferencia de medias con valores de significancia, correlación y pendientes mensuales entre las estimaciones de ETP por el método de Priestley Taylor y Penman Monteith recomendado.

	Total	Sesgo	Regresión	Error	Dif de medias	alfa	Correlación	Pendiente
Enero	0,17	0,09	0,53	0,37	0,124	0,25	0,77	0,46
Febrero	0,29	0,00	0,14	0,86	-0,034	0,81	0,7	1,34
Marzo	0,05	0,08	0,03	0,89	-0,065	0,29	0,7	0,87
Abril	0,18	0,68	0,05	0,26	-0,340	0,00	0,28	0,75
Mayo	0,45	0,84	0,10	0,07	-0,610	0,00	0,34	0,4
Junio	0,51	0,89	0,07	0,05	-0,670	0,00	0,12	0,62
Julio	0,42	0,90	0,05	0,06	-0,610	0,00	0,11	0,69
Agosto	0,30	0,69	0,16	0,15	-0,450	0,00	0,23	0,53
Setiembre	0,12	0,05	0,35	0,60	-0,080	0,39	0,25	0,62
Octubre	0,12	0,13	0,26	0,61	0,122	0,17	0,65	0,6
Noviembre	0,21	0,53	0,11	0,36	0,336	0,00	0,73	0,68
Diciembre	0,17	0,50	0,14	0,36	0,296	0,02	0,67	0,62

Priestley Taylor no presentó diferencias significativas en las medias de enero, febrero, marzo, setiembre y octubre comparado al método de referencia ($p > 0,05$); siendo el error total mensual de los mismos en general, inferior que en los meses restantes, con un mayor porcentaje perteneciente al error aleatorio, salvo en enero que le corresponde a la regresión el 53% del error total mensual. En los meses restantes la mayor proporción del error total corresponde al sesgo; las diferencias de medias son significativas ($p < 0,05$) y los coeficientes de correlación resultaron en general más bajos.

b.5 Método de Priestley Taylor ajustado

En el cuadro 16 se presenta el análisis estadístico mensual comparando las estimaciones de ETP por el método de Priestley Taylor ajustado y las del método de referencia.

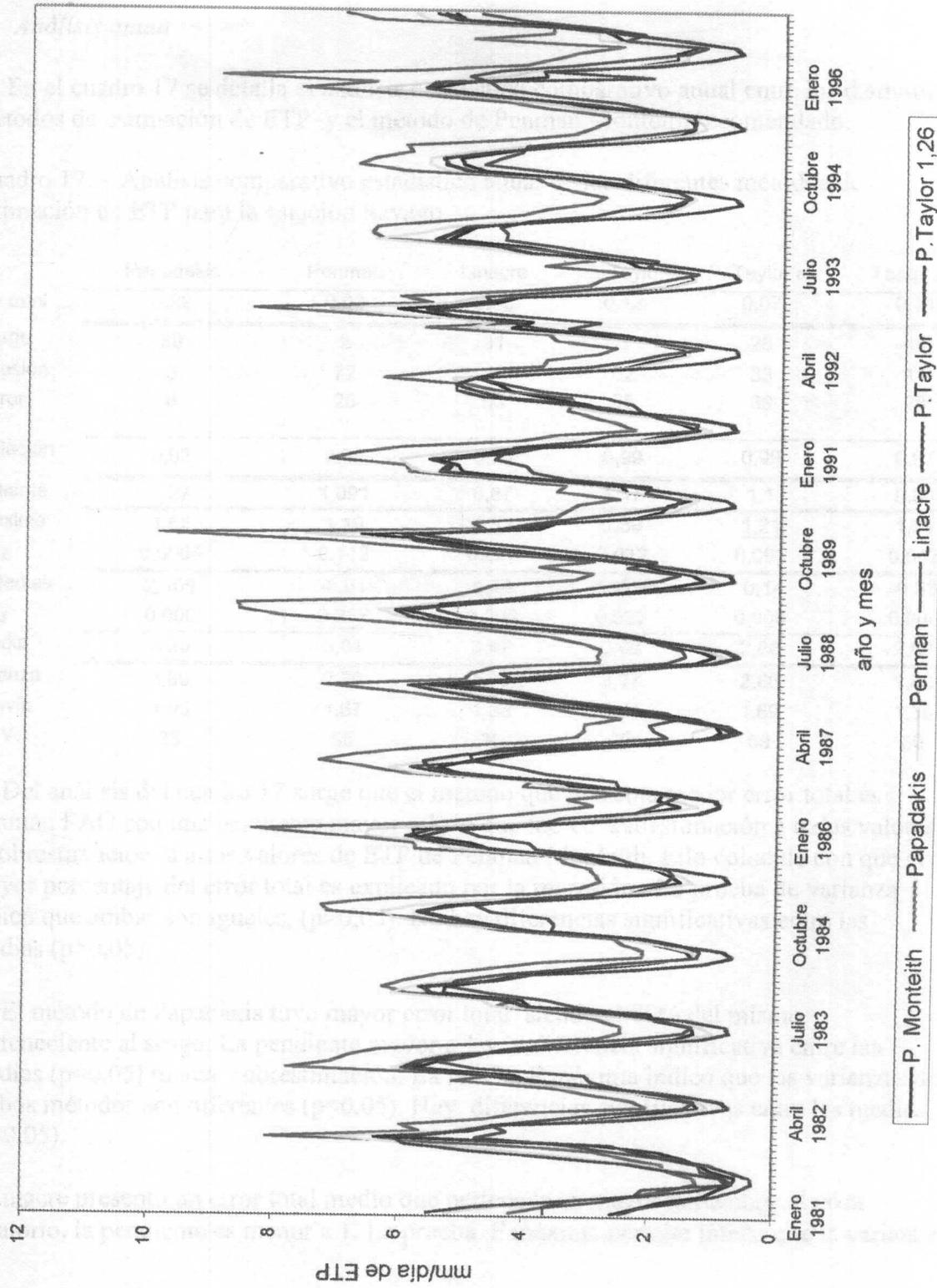
Cuadro 16 – Partición de las diferencias, diferencia de medias con valores de significancia, correlación y pendientes mensuales entre las estimaciones de ETP por el método de Priestley Taylor ajustado y Penman Monteith recomendado.

	Total	Sesgo	Regresión	Error	Dif de medias	alfa	Correlación	Pendiente
Enero	0,13	0,01	0,39	0,59	0,038	0,70	0,78	0,59
Febrero	0,24	0,05	0,17	0,78	-0,111	0,39	0,77	1,35
Marzo	0,04	0,42	0,02	0,55	-0,125	0,01	0,88	0,9
Abril	0,18	0,80	0,04	0,16	-0,382	0,00	0,59	0,66
Mayo	0,45	0,89	0,09	0,03	-0,633	0,00	0,76	0,32
Junio	0,51	0,91	0,05	0,04	-0,684	0,00	0,45	0,38
Julio	0,42	0,93	0,05	0,03	-0,627	0,00	0,47	0,35
Agosto	0,30	0,77	0,12	0,11	-0,478	0,00	0,56	0,43
Setiembre	0,09	0,15	0,34	0,51	-0,118	0,13	0,6	0,53
Octubre	0,07	0,07	0,16	0,77	0,070	0,33	0,77	0,74
Noviembre	0,11	0,66	0,04	0,29	0,266	0,00	0,91	0,85
Diciembre	0,08	0,58	0,05	0,37	0,212	0,00	0,89	0,84

En el cuadro se indica que en enero, febrero, setiembre y octubre no hay diferencias significativas entre las medias ($p > 0,05$). En estos meses el error total mensual pertenece en mayor porcentaje al error aleatorio. En los restantes meses, hay diferencias significativas entre las medias; el error total mensual pertenece al sesgo y al error aleatorio en mayor proporción. La correlación es alta.

En el gráfico 13 se detalla el comportamiento de los diferentes métodos de estimación de la ETP analizados en éste trabajo, hallados para la estación Carrasco

Gráfico 13. Comportamiento de los diferentes métodos de estimación de la ETP hallados para la estación Carrasco (1982-1996).



3. Estación Sayago

a. Análisis anual

En el cuadro 17 se detalla el análisis estadístico comparativo anual entre los distintos métodos de estimación de ETP y el método de Penman Monteith recomendado.

Cuadro 17. – Análisis comparativo estadístico anual de los diferentes métodos de estimación de ETP para la estación Sayago

	Papadakis	Penman	Linacre	P. Taylor	P. Taylor aj.	Tanque A
Error total	5,29	0,03	0,65	0,12	0,07	0,24
Sesgo	89	2	31	3	28	48
Regresión	3	72	6	62	33	14
Error	8	26	63	35	39	38
Correlación	0,93	0,99	0,90	0,99	0,99	0,97
Pendiente	1,27	1,091	0,87	1,17	1,1	0,88
F máxima	1,62	1,19	1,32	1,39	1,21	1,29
α	0,0004	0,112	0,027	0,012	0,090	0,042
Dif. Medias	2,169	-0,01	0,44	0,0555	-0,14	-0,33
α	0,000	0,237	0,000	0,027	0,000	0,000
Media	5,20	3,01	3,47	3,08	2,88	2,68
Varianza	3,80	2,79	1,77	3,27	2,86	1,82
Desvío	1,95	1,67	1,33	1,81	1,69	1,35
C.V.	38	55	38	59	59	50

Del análisis del cuadro 17 surge que el método que presenta menor error total es Penman FAO con una pendiente mayor a 1, lo que indicó subestimación a bajos valores y sobrestimación a altos valores de ETP de Penman Monteith. Ello coincide con que el mayor porcentaje del error total es explicado por la regresión. La prueba de varianza indicó que ambas son iguales, ($p>0,05$). No hay diferencias significativas entre las medias ($p>0,05$).

El método de Papadakis tuvo mayor error total siendo el 89% del mismo perteneciente al sesgo. La pendiente mayor a 1 y la diferencia significativa entre las medias ($p<0,05$) marca sobrestimación. La prueba F máxima indicó que las varianzas de ambos métodos son diferentes ($p<0,05$). Hay diferencias significativas entre las medias, ($p<0,05$).

Linacre presentó un error total medio que pertenece en mayor porcentaje al error aleatorio, la pendiente es menor a 1. La prueba F máxima permite inferir que la varianza

de ambos métodos es diferente con un 95 % de confianza. Las medias son estadísticamente diferentes con un 95 % de confianza.

El método de Priestley Taylor presentó bajo error total anual distribuido entre regresión (62%) y error aleatorio (35%). La pendiente es mayor a 1. Las varianzas y las medias son diferentes a las del método de referencia con un 95% de confianza.

El método de Priestley Taylor ajustado presentó bajo error total. La prueba F máxima indicó que las varianzas de ambos métodos son iguales ($p > 0,05$). Las medias presentan diferencias significativas ($p < 0,05$). Presenta alto coeficiente de variación.

Tanque A tiene bajo error total distribuido en sesgo (48%) y error aleatorio (38%). La pendiente es menor a 1. La prueba de varianza indicó que la misma es diferente para cada método. Las medias de los métodos son diferentes con un 95% de confianza.

Gráfico 14 – Dispersión de los datos de estimación de ETP por el método de Papadakis con respecto a Penman Monteith recomendado (recta 1:1)

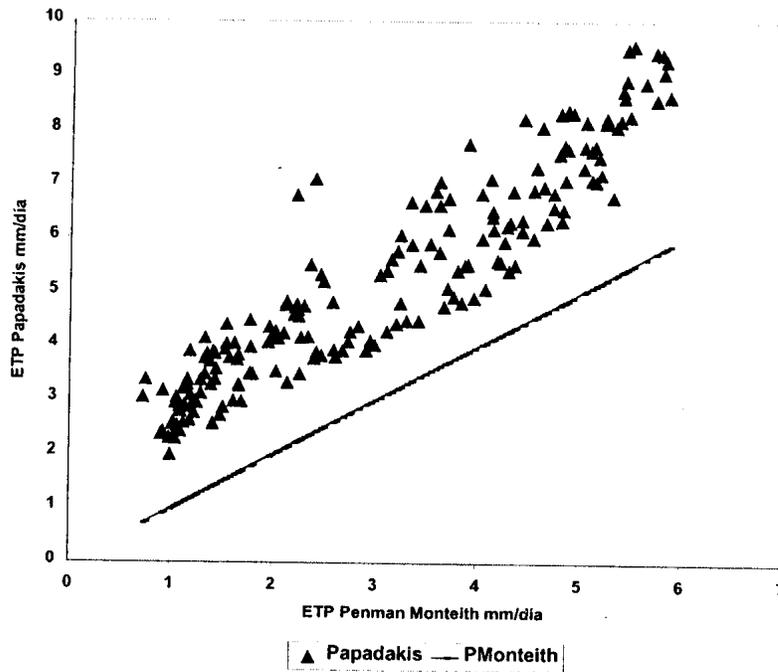


Gráfico 15 – Dispersión de los datos de estimación de ETP por el método de Penman FAO con respecto a Penman Monteith recomendado (recta 1:1)

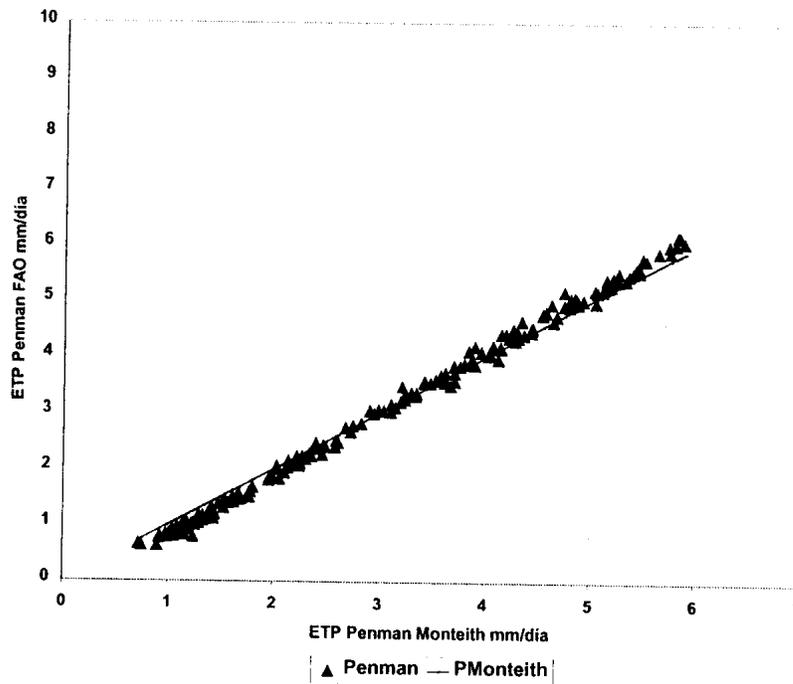


Gráfico 16 – Dispersión de los datos de estimación de ETP por el método de Linacre con respecto a Penman Monteith recomendado (recta 1:1)

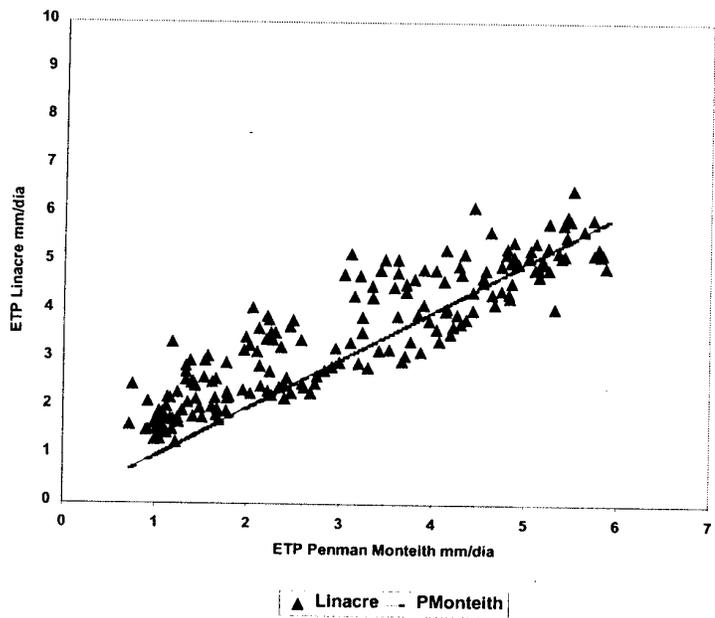


Gráfico 17 – Dispersión de los datos de estimación de ETP por el método de Priestley Taylor con respecto a Penman Monteith recomendado (recta 1:1)

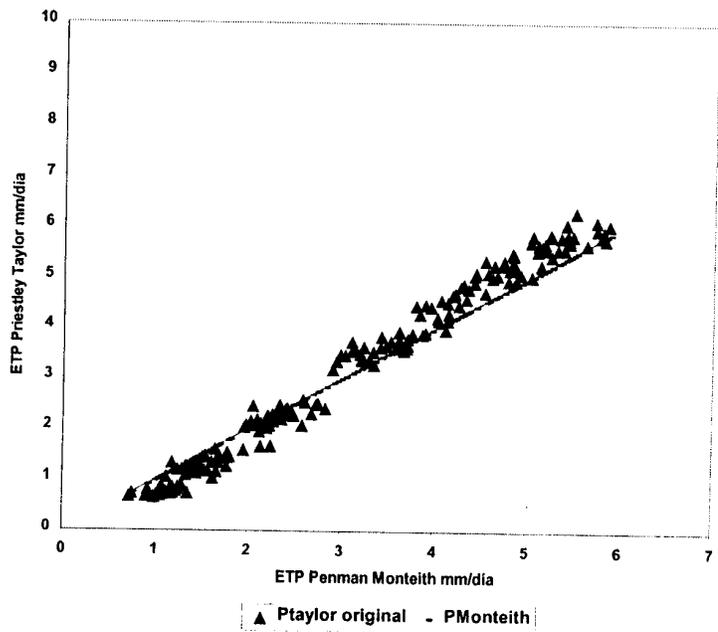


Gráfico 18 – Dispersión de los datos de estimación de ETP por el método de Priestley Taylor ajustado con respecto a Penman Monteith recomendado (recta 1:1)

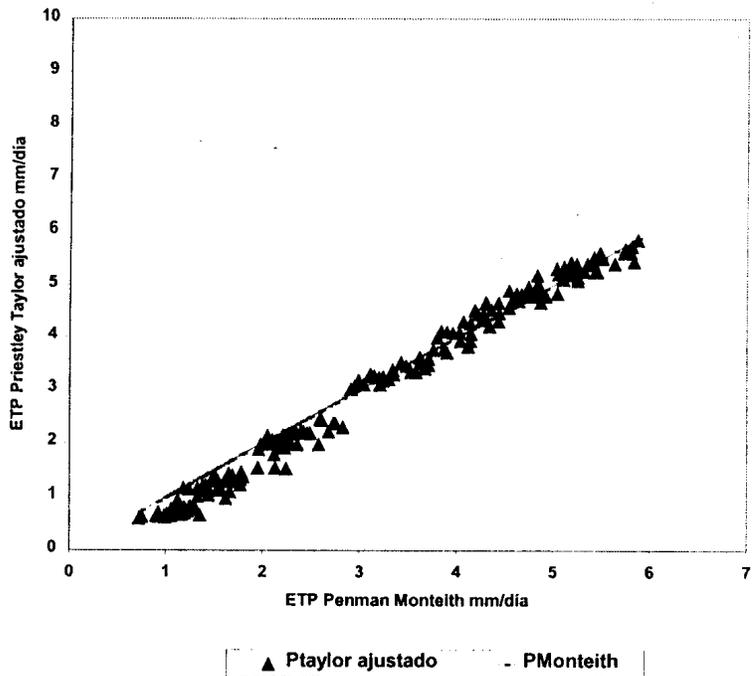
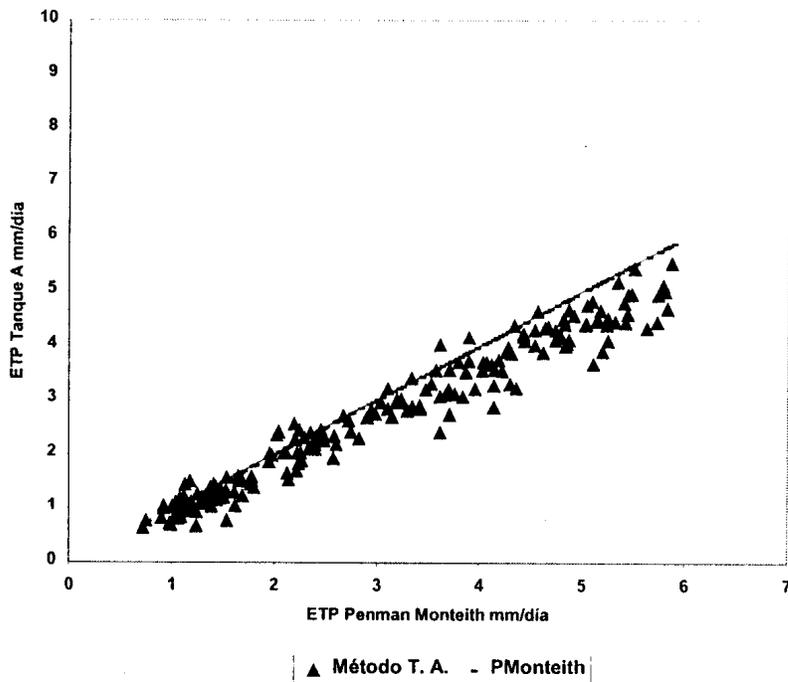


Gráfico 19 - Dispersión de los datos de estimación de ETP por el método Tanque A con respecto al de Penman Monteith recomendado (recta 1:1)



b. Análisis mensual

Se realizó un estudio estadístico mensual comparando los diferentes métodos de estimación de la evapotranspiración potencial con el método de referencia

b.1 Método de Papadakis

En el cuadro 18 se detalló el análisis estadístico comparativo mensual entre el método de estimación de la ETP de Papadakis y el de referencia

Cuadro 18- Partición de las diferencias, diferencia de medias, correlación y pendientes mensuales entre las estimaciones de ETP por el método de Papadakis y Penman Monteith recomendado.

	Total	Sesgo	Regresión	Error	Dif de medias	Correlación	Pendiente
Enero	9,80	0,96	0,03	0,01	3,07	0,86	3,02
Febrero	7,80	0,95	0,04	0,01	2,71	0,86	2,3
Marzo	8,54	0,98	0,01	0,01	2,89	0,83	2,05
Abril	5,98	0,98	0,01	0,01	2,42	0,74	2,32
Mayo	5,50	0,99	0,01	0,01	2,33	0,57	1,83
Junio	3,45	0,95	0,02	0,03	1,81	0,37	2,09
Julio	2,85	0,97	0,02	0,01	1,66	0,42	2,5
Agosto	3,43	0,93	0,05	0,01	1,78	0,85	2,94
Setiembre	4,78	0,74	0,11	0,14	1,88	0,48	1,15
Octubre	2,36	0,96	0,06	0,03	1,46	0,88	2,02
Noviembre	2,53	0,93	0,05	0,02	1,53	0,85	2,14
Diciembre	6,43	0,94	0,04	0,02	2,45	0,8	2,43

Papadakis presentó alto error total mensual perteneciendo el mismo en mayor proporción al sesgo en más del 90 %. La pendiente mayor a 1 y una diferencia significativa en las medias ($p > 0,05$) para todos los meses indica sobrestimación al método de referencia.

b.2 Método de Penman FAO

En el cuadro 19 se presenta el análisis estadístico mensual comparando las estimaciones de ETP de Penman FAO y Penman Monteith recomendado.

Cuadro 19 – Partición de las diferencias, diferencia de medias con valores de significancia, correlación y pendientes mensuales entre las estimaciones de ETP por Penman FAO y Penman Monteith recomendado.

	Total	Sesgo	Regresión	Error	Dif de medias	Alfa	Correlación	Pendiente
Enero	0,04	0,79	0,12	0,09	0,178	0,00	0,98	1,25
Febrero	0,02	0,55	0,01	0,44	0,115	0,00	0,97	1,03
Marzo	0,01	0,01	0,05	0,93	-0,010	0,69	0,95	0,93
Abril	0,02	0,84	0,01	0,15	-0,120	0,00	0,95	0,95
Mayo	0,05	0,97	0,00	0,03	-0,220	0,00	0,97	1,00
Junio	0,05	0,82	0,03	0,15	-0,200	0,00	0,80	0,76
Julio	0,03	0,93	0,00	0,07	-0,180	0,00	0,87	0,97
Agosto	0,02	0,93	0,00	0,06	-0,150	0,00	0,98	0,96
Setiembre	0,01	0,26	0,03	0,71	-0,033	0,03	0,98	1,03
Octubre	0,01	0,29	0,00	0,71	0,047	0,03	0,98	0,99
Noviembre	0,03	0,69	0,06	0,25	0,134	0,00	0,95	0,87
Diciembre	0,04	0,83	0,00	0,17	0,183	0,00	0,97	0,97

Penman FAO presenta diferencias significativas entre las medias ($p < 0,05$) a excepción del mes de marzo. que tiene menor error total mensual y pertenece al error aleatorio en un 93 %. El error total mensual es bajo y pertenece en general al sesgo; en los meses de menor error total pertenece al error aleatorio en mayor proporción. La correlación es alta en todos los meses y la pendiente próxima a 1.

b.3 Método de Linacre

En el cuadro 20 se detalla el análisis estadístico mensual comparando las estimaciones por el método de Linacre con el de referencia.

Cuadro 20 – Partición de las diferencias, diferencia de medias con valores de significancia, correlación y pendientes mensuales entre las estimaciones de ETP por Linacre y Penman Monteith recomendado.

	Total	Sesgo	Regresión	Error	Dif de medias	alfa	Correlación	Pendiente
Enero	0,18	0,02	0,16	0,82	0,055	0,62	0,39	1,39
Febrero	0,66	0,66	0,01	0,33	0,655	0,00	0,3	0,93
Marzo	0,47	0,88	0,00	0,12	1,138	0,00	0,16	1
Abril	1,80	0,95	0,01	0,04	1,309	0,00	0,17	1,13
Mayo	1,58	0,92	0,02	0,06	1,208	0,00	0,11	1,17
Junio	0,70	0,86	0,03	0,11	0,778	0,00	0,24	1,36
Julio	0,34	0,78	0,08	0,13	0,518	0,00	0,13	1,15
Agosto	0,29	0,68	0,09	0,23	0,443	0,00	0,59	1,62
Setiembre	0,16	0,02	0,08	0,90	0,054	0,60	0,16	0,86
Octubre	0,15	0,26	0,00	0,73	-0,203	0,03	0,56	0,94
Noviembre	0,17	0,59	0,00	0,40	-0,316	0,00	0,64	1,06
Diciembre	0,27	0,25	0,02	0,73	-0,258	0,04	0,36	1,11

En enero y setiembre Linacre no presenta diferencias significativas entre las medias ($p > 0,05$); el error total mensual es bajo y pertenece al error aleatorio en mayor porcentaje (82 y 90%). En los meses restantes presenta diferencias significativas en las medias de los métodos comparados, ($p < 0,05$); el error total es más alto (salvo excepción de octubre y noviembre) perteneciendo en general en mayor proporción al sesgo (salvo excepción de octubre y diciembre). La pendiente es próxima a 1.

b.4 Método de Priestley Taylor

En el cuadro 21 se analiza estadísticamente la comparación mensual entre las estimaciones de ETP por el método de Priestley Taylor y Penman Monteith recomendado.

Cuadro 21 – Partición de las diferencias, diferencia de medias con valores de significancia, correlación y pendientes mensuales entre las estimaciones de ETP por Priestley Taylor y Penman Monteith recomendado.

	Total	Sesgo	Regresión	Error	Dif de medias	Alfa	Correlación	Pendiente
Enero	0,18	0,74	0,01	0,25	0,367	0,00	0,64	0,87
Febrero	0,16	0,76	0,03	0,20	0,355	0,00	0,88	0,82
Marzo	0,06	0,40	0,09	0,51	0,157	0,00	0,79	0,77
Abril	0,04	0,13	0,07	0,80	-0,073	0,16	0,22	0,85
Mayo	0,09	0,63	0,07	0,30	-0,243	0,00	0,61	0,91
Junio	0,11	0,79	0,01	0,19	-0,3	0,00	0,43	0,81
Julio	0,11	0,94	0,03	0,03	0,327	0,00	0,51	0,48
Agosto	0,09	0,76	0,13	0,10	-0,26	0,00	0,81	0,5
Setiembre	0,03	0,28	0,12	0,60	-0,09	0,03	0,87	0,8
Octubre	0,07	0,54	0,16	0,30	0,192	0,00	0,89	0,72
Noviembre	0,23	0,92	0,01	0,07	0,456	0,00	0,92	1,15
Diciembre	0,25	0,76	0,06	0,18	0,437	0,00	0,74	0,66

En el cuadro 21 se observa que hay diferencias significativas entre las medias de ambos métodos comparados, salvo en el mes de abril ($p > 0,05$); coincidiendo con el mes de menor grado de correlación, siendo alta en los meses restantes. La pendiente es menor a 1, exceptuando el mes de noviembre ($S=1,15$). El error total mensual es bajo, perteneciendo en general al sesgo en mayor proporción, salvo en marzo y abril y setiembre en que pertenece mayormente al error aleatorio.

b.5. Método de Priestley Taylor ajustado

En el cuadro 22 se detalla el análisis estadístico mensual de la comparación entre las estimaciones de ETP por Priestley Taylor ajustado y el método de referencia.

Cuadro 22 – Partición de las diferencias, diferencia de medias con valores de significancia, correlación y pendientes mensuales entre las estimaciones de ETP por Priestley Taylor ajustado y Penman Monteith recomendado.

	Total	Sesgo	Regresión	Error	Dif de medias	Alfa	Correlación	Pendiente
Enero	0,03	0,01	0,28	0,71	-0,016	0,71	0,78	0,67
Febrero	0,02	0,07	0,12	0,81	0,041	0,30	0,93	0,87
Marzo	0,02	0,24	0,17	0,59	-0,073	0,05	0,92	0,81
Abril	0,08	0,60	0,05	0,35	-0,214	0,00	0,34	0,77
Mayo	0,13	0,79	0,05	0,15	-0,322	0,00	0,22	0,72
Junio	0,14	0,84	0,01	0,15	-0,348	0,00	0,45	0,8
Julio	0,15	0,96	0,02	0,02	-0,381	0,00	0,66	0,44
Agosto	0,15	0,85	0,11	0,04	0,353	0,00	0,84	0,42
Setiembre	0,08	0,78	0,04	0,18	-0,245	0,00	0,91	0,83
Octubre	0,02	0,09	0,35	0,55	-0,04	0,24	0,94	0,76
Noviembre	0,04	0,50	0,01	0,49	0,137	0,00	0,89	0,93
Diciembre	0,03	0,20	0,32	0,49	0,081	0,07	0,91	0,71

En los meses de enero, febrero, marzo, octubre y diciembre no hay diferencias significativas entre las medias de ambos métodos, ($p > 0,05$); presenta menor error total mensual siendo en un 49-81% perteneciente al error aleatorio. En los demás meses hay diferencias entre las medias con un 95% de confianza; el error total es más alto y pertenece en mayor porcentaje al sesgo. Se observan correlaciones mayores a 0,60 en todos los meses con excepción de julio y agosto.

b.6 Método de Tanque A

En el cuadro 23 se presenta el análisis estadístico mensual comparando las estimaciones de ETP por el método Tanque A y el método de referencia.

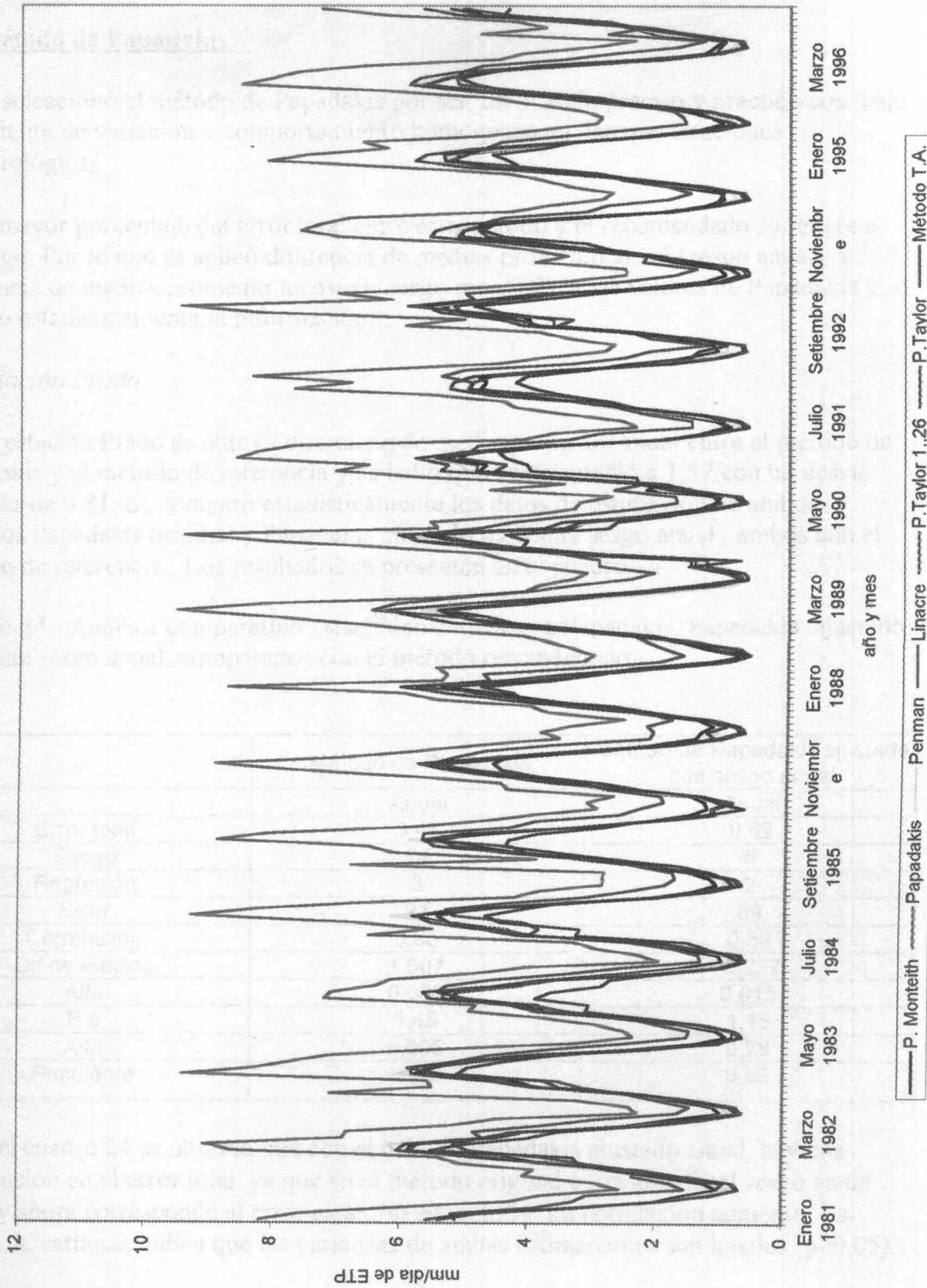
Cuadro 23 – Partición de las diferencias, diferencia de medias con valores de significancia, correlación y pendientes mensuales entre las estimaciones de ETP por método de Tanque A y Penman Monteith recomendado.

	Total	Sesgo	Regresión	Error	Dif de medias	Alfa	Correlación	Pendiente
Enero	0,71	0,76	0,02	0,21	-0,737	0,00	0,33	1,25
Febrero	0,32	0,65	0,04	0,31	-0,459	0,00	0,78	1,25
Marzo	0,17	0,40	0,02	0,58	-0,263	0,00	0,59	1,16
Abril	0,07	0,03	0,02	0,95	-0,043	0,53	0,17	1,07
Mayo	0,06	0,29	0,00	0,71	-0,129	0,03	0,26	1,02
Junio	0,05	0,23	0,09	0,68	-0,107	0,05	0,53	1,35
Julio	0,04	0,58	0,01	0,41	-0,143	0,00	0,39	1,13
Agosto	0,08	0,70	0,01	0,29	-0,236	0,00	0,72	0,87
Setiembre	0,14	0,53	0,14	0,33	-0,276	0,00	0,83	1,43
Octubre	0,28	0,73	0,01	0,26	-0,450	0,00	0,69	0,85
Noviembre	0,37	0,69	0,06	0,24	-0,510	0,00	0,66	1,45
Diciembre	0,57	0,87	0,00	0,13	-0,700	0,00	0,75	1,12

Tanque A no presentó diferencias significativas entre las medias de abril y junio ($p > 0,05$); siendo en esos meses el 95 y 68% del error total respectivamente, perteneciente al error aleatorio. En los meses restantes hay diferencias significativas en las medias, el error total mensual es bajo en general, perteneciendo el mismo al sesgo en mayor proporción, a excepción de marzo, abril, mayo y junio en que prevalece el error aleatorio.

En el siguiente gráfico se observa el comportamiento conjunto de todos los métodos de estimación de la ETP aplicados a la estación Sayago período 1981-1996.

Gráfico 20. Comportamiento de los diferentes métodos de estimación de la ETP hallados para estación Sayago (1981-1996)



C. - AJUSTE DE LOS MÉTODOS Y VALIDACIÓN

1. Método de Papadakis

Se seleccionó el método de Papadakis por ser un método preciso y práctico con bajo coeficiente de variación y comportamiento homogéneo en las tres estaciones meteorológicas.

El mayor porcentaje del error total entre este método y el recomendado se refiere a un sesgo. Por lo que se aplicó diferencia de medias promedio anual (sesgo anual) y diferencia de medias promedio mensual (sesgo mensual) a los valores de Papadakis y se analizó estadísticamente la información.

a.- Estación Prado

En estación Prado se obtuvo diferencia de media promedio anual entre el método de Papadakis y el método de referencia y se halló que correspondió a 1,57 con un desvío estándar de 0,81. Se comparó estadísticamente los datos de estimación de ambos métodos Papadakis original y Papadakis ajustado mediante sesgo anual, ambos con el método de referencia. Los resultados se presentan en el cuadro 24.

Cuadro 24.- Análisis comparativo estadístico anual entre Papadakis, Papadakis ajustado mediante sesgo anual comparados con el método recomendado

	Método de Papadakis	Método de Papadakis ajustado con sesgo anual
	Anual	Anual
Error total	3,48	0,62
Sesgo	74	8
Regresión	3	2
Error	23	89
Correlación	0,86	0,89
Dif de medias	1,607	-0,227
Alfa	0,000	0,015
F o	1,45	1,15
Alfa	0,005	0,28
Pendiente	1,203	0,93

En el cuadro 24 se observa que con el método Papadakis ajustado anual, hay una disminución en el error total ya que en el método original correspondía al sesgo en un 74 % y ahora corresponde al error aleatorio en un 89%. La correlación aumentó. La prueba de varianza indica que las varianzas de ambas estimaciones son iguales ($p > 0,05$).

La pendiente de ser mayor a 1 pasó a ser menor a 1. De ello surge que el uso del sesgo anual implicó en general, subestimación al método recomendado. Se encontraron diferencias en las medias, ($p < 0,05$).

Se analizó estadísticamente a nivel mensual la aplicación del sesgo anual a la estimación de Papadakis lo que se presenta en el cuadro 25.

Cuadro 25 – Partición de las diferencias, diferencias de medias con valores de significancia y correlación entre las estimaciones de ETP de Papadakis con ajuste anual y Penman Monteith recomendado

	Total	Sesgo	Regresión	Error	Dif de medias	Alfa	Pendiente	Correlación
Enero	0,15	0,00	0,86	0,14	0,01	0,96	0,42	0,93
Febrero	0,61	0,52	0,34	0,14	-0,56	0,1	0,42	0,82
Marzo	0,72	0,78	0,12	0,10	-0,75	0,008	0,41	0,59
Abril	2,63	0,29	0,58	0,13	-0,86	0,21	0,45	0,09
Mayo	0,75	0,82	0,00	0,18	-0,78	0,004	1,00	0,11
Junio	0,41	0,16	0,11	0,73	-0,25	0,36	0,65	0,37
Julio	0,20	0,00	0,20	0,80	0,001	0,99	0,94	0,39
Agosto	0,54	0,08	0,53	0,39	-0,2	0,53	0,60	0,14
Setiembre	0,17	0,39	0,23	0,38	0,26	0,13	0,57	0,7
Octubre	0,24	0,38	0,54	0,09	0,3	0,14	0,45	0,94
Noviembre	0,40	0,49	0,38	0,12	0,44	0,08	0,45	0,89
Diciembre	0,57	0,18	0,64	0,17	-0,32	0,33	0,29	0,75

En el cuadro 25 se observa que el error total a nivel mensual disminuyó, perteneciendo a la regresión y al error aleatorio el mayor porcentaje en casi todos los meses. La pendiente mensual menor a 1 confirmó el error debido a la regresión mencionado. No hay diferencias significativas en las medias a excepción de marzo y mayo en los que $p < 0,05$. La correlación es variable siendo baja en meses de otoño e invierno.

Para el logro de un mayor ajuste al método recomendado se utilizaron las diferencias promedios (1981-1996) entre los promedios mensuales de Papadakis y el método de referencia. El resultado se presenta en el cuadro 26.

Cuadro 26. – Diferencia entre los promedios mensuales de las estimaciones de ETP de Papadakis y Penman Monteith recomendado en mm/día (1981-1996)

	Sesgo mensual
Enero	2,29
Febrero	2,07
Marzo	2,32
Abril	2,18
Mayo	2,01
Junio	1,81
Julio	1,54
Agosto	1,71
Setiembre	1,12
Octubre	0,98
Noviembre	1,00
Diciembre	1,62

Se comparó estadísticamente los resultados de las estimaciones de Papadakis y Papadakis ajustado con sesgo mensual, encontrándose un mejor ajuste que se presenta en el cuadro 27.

Cuadro 27.– Análisis comparativo estadístico anual entre Papadakis, Papadakis ajustado mediante sesgo mensual comparados todos con el método recomendado

	Método de Papadakis	Método de Papadakis Ajustado
	Anual	Mensual
Error total	3,48	0,44
Sesgo	74	0
Regresión	3	5
Error	23	95
Correlación	0,86	0,92
Dif de medias	1,607	0,017
Alfa	0,000	0,84
F o	1,45	1,19
Alfa	0,005	0,24
Pendiente	1,203	1,09

En el cuadro se observa que el error total anual del método de Papadakis ajustado con sesgo mensual, tuvo una disminución mayor que con el ajuste anterior. La correlación aumentó, no hay diferencias en las medias de ambos métodos ($p > 0,05$) ni en las varianzas. La pendiente se aproximó más a 1.

Se realizó un análisis estadístico mensual de la aplicación del sesgo mensual al método de Papadakis, que se detalla en el cuadro 28.

Cuadro 28. - Partición de las diferencias, diferencias de medias con valores de significancia y correlación entre las estimaciones de ETP de Papadakis con ajuste mensual y Penman Monteith recomendado

	Total	Sesgo	Regresión	Error	Dif de medias	Alfa	Pendiente	Correlación
Enero	0,74	0,39	0,57	0,03	-0,54	0,18	2,83	0,96
Febrero	0,25	0,01	0,65	0,34	-0,048	0,85	2,49	0,75
Marzo	0,10	0,17	0,38	0,44	-0,132	0,41	1,93	0,72
Abril	2,32	0,03	0,82	0,15	0,258	0,74	2,14	0,07
Mayo	0,13	0,41	0,00	0,59	0,23	0,17	1,03	0,42
Junio	0,29	0,06	0,17	0,77	-0,136	0,62	1,24	0,15
Julio	0,19	0,02	0,35	0,63	-0,064	0,78	1,30	0,13
Agosto	0,12	0,42	0,11	0,47	-0,228	0,16	1,47	0,5
Setiembre	0,13	0,16	0,40	0,44	0,144	0,43	1,85	0,76
Octubre	0,27	0,59	0,34	0,07	0,398	0,07	2,01	0,94
Noviembre	0,14	0,00	0,58	0,42	-0,006	0,97	2,08	0,78
Diciembre	0,65	0,16	0,67	0,17	0,324	0,43	3,41	0,77

El error total mensual es menor que en el cuadro 25, no existen diferencias significativas entre las medias, ($p > 0,05$) y los valores de correlación son variables pero mayores que en la estimación de Papadakis con ajuste anual, siendo bajos en los meses invernales.

b. – Estación Carrasco

En estación Carrasco se halló un promedio anual de las diferencias entre las medias de las estimaciones con el método de Papadakis y el método recomendado y se encontró que corresponde al valor sesgo 1,39 con un desvío estándar de 0,68. Se aplicó el sesgo anual a las estimaciones de Papadakis y se analizó el ajuste al método recomendado. El detalle se presenta en el cuadro 29.

Cuadro 29 – Análisis comparativo estadístico anual entre Papadakis, Papadakis ajustado mediante sesgo anual comparados todos con el método recomendado

	Método de Papadakis	Método de Papadakis ajustado
	Anual	Sesgo anual
Error total	2,32	0,42
Sesgo	82	1
Regresión	1	9
Error aleatorio	17	90
Correlación	0,91	0,92
Dif de medias	1,37	0,06
Alfa	0,00	0,49
Fo	1,30	1,27
Alfa	0,04	0,18
Pendiente	1,30	0,88

Comparado con el método original de Papadakis, en el cuadro 29 se observa que con el método de Papadakis ajustado mediante sesgo mensual hay una disminución mayor en el error total que con el ajuste anterior. En el método original, el error total correspondía al sesgo en un 82% y ahora corresponde al error aleatorio en un 90%. La correlación aumentó, no hay diferencias significativas entre las medias de Papadakis ajustado y Penman Monteith recomendado ($p > 0,05$). La prueba de F máxima indica que las varianzas de ambas estimaciones son iguales ($p > 0,05$). La pendiente de ser mayor a 1 pasó a ser menor a.

El análisis estadístico mensual de la aplicación del sesgo anual confirma el análisis anual, y se detalla en el cuadro 30.

Cuadro 30. –Partición de las diferencias, diferencia de medias con valores de significancia y correlación a nivel mensual entre las estimaciones de ETP por el método de Papadakis ajustado mediante sesgo anual y Penman Monteith recomendado

	Total	Sesgo	Regresión	Error	Dif de medias	Alfa	pendiente	Correlación
Enero	0,35	0,13	0,66	0,21	0,19	0,52	0,41	0,86
Febrero	1,04	0,48	0,41	0,11	0,28	0,49	0,39	0,88
Marzo	0,14	0,52	0,19	0,29	0,22	0,15	0,56	0,72
Abril	0,29	0,72	0,00	0,28	0,19	0,25	1,00	0,19
Mayo	0,46	0,42	0,28	0,31	0,19	0,5	0,48	0,37
Junio	0,17	0,00	0,38	0,62	-0,09	0,67	0,66	0,20
Julio	0,12	0,21	0,41	0,38	-0,02	0,91	0,49	0,74
Agosto	0,36	0,38	0,54	0,08	-0,3	0,27	0,21	0,77
Setiembre	0,40	0,68	0,02	0,30	-0,02	0,99	0,83	0,73
Octubre	0,83	0,91	0,00	0,09	-0,27	0,12	1,02	0,52
Noviembre	0,58	0,67	0,27	0,06	-0,04	0,98	0,46	0,92
Diciembre	0,33	0,14	0,59	0,27	-0,23	0,42	0,38	0,24

No existen diferencias en las medias a nivel mensual con 95% de confianza, se confirmó que las medias de Papadakis ajustado anual y el método de referencia son estadísticamente iguales ($p > 0,05$). La correlación es alta salvo en meses de otoño e invierno. La pendiente mensual se incluyó en este cuadro porque es consistente con el valor de pendiente menor a 1 que se halló en el análisis anual.

Para mejorar el ajuste entre Papadakis y Penman Monteith se utilizaron las diferencias promedios (1982-1996) entre los promedios mensuales de Papadakis y el método de referencia que se presentan en el cuadro 31.

Cuadro 31 - Diferencias entre los promedios mensuales de las estimaciones de ETP entre el método de Papadakis y Penman Monteith recomendado en mm/día (1982-1996)

	Sesgo mensual
Enero	1,79
Febrero	1,82
Marzo	1,88
Abril	1,66
Mayo	1,64
Junio	1,46
Julio	1,25
Agosto	1,32
Setiembre	0,87
Octubre	0,79
Noviembre	0,77
Diciembre	1,42

Se realizó un estudio estadístico anual entre Papadakis ajustado mediante sesgo mensual y Penman Monteith que se detalla en el cuadro 32.

Cuadro 32 – Análisis comparativo estadístico anual entre Papadakis, Papadakis ajustado mediante sesgo mensual, comparados con el método recomendado

Análisis anual	Método de Papadakis original	Método de Papadakis Ajustado
		Sesgo mensual
Error total	2,32	0,24
Sesgo	82	1
Regresión	1	3
Error aleatorio	17	96
Correlación	0,91	0,95
Dif de medias	1,37	-0,056
Alfa	0,00	0,37
Fo	1,30	1,10
Alfa	0,04	0,34
Pendiente	1,30	1,05

El cuadro 32 indica disminución en el error total desde el método original con respecto a Penman Monteith recomendado, al método ajustado mediante sesgo mensual. En ese mismo orden aumento del valor de correlación. Papadakis ajustado mensual no presenta diferencias significativas en las medias comparado con el método de referencia

($p > 0,05$) y presenta igual varianza. La pendiente de ser mayor que 1 pasa a ser próximo a 1, lo que indica un ajuste adecuado.

En el análisis estadístico mensual del cuadro 33 se confirma que es más ajustado el método de Papadakis con sesgo mensual al método de referencia.

Cuadro 33 - Partición de las diferencias, diferencia de medias con valores de significancia y correlación a nivel mensual entre las estimaciones de ETP por el método de Papadakis ajustado mediante sesgo mensual y Penman Monteith recomendado

	Total	Sesgo	Regresión	Error	Dif de medias	Alfa	Pendiente	Correlación
Enero	0,34	0,11	0,67	0,22	0,19	0,52	2,43	0,86
Febrero	0,62	0,13	0,70	0,18	0,28	0,49	2,54	0,88
Marzo	0,12	0,43	0,23	0,34	0,22	0,15	1,77	0,72
Abril	0,12	0,31	0,00	0,69	0,19	0,25	0,99	0,19
Mayo	0,30	0,12	0,42	0,46	0,19	0,5	2,05	0,37
Junio	0,18	0,05	0,36	0,59	-0,09	0,67	1,51	0,20
Julio	0,09	0,00	0,52	0,47	-0,02	0,91	2,04	0,74
Agosto	0,31	0,29	0,62	0,10	-0,3	0,27	4,57	0,77
Setiembre	0,13	0,00	0,06	0,94	-0,02	0,99	1,19	0,73
Octubre	0,15	0,49	0,00	0,51	-0,27	0,12	0,97	0,52
Noviembre	0,20	0,00	0,81	0,19	-0,04	0,98	2,15	0,92
Diciembre	0,33	0,16	0,58	0,26	-0,23	0,42	2,62	0,24

No existen diferencias en las medias a nivel mensual entre Papadakis ajustado mensual y el método recomendado ($p > 0,05$). La correlación es alta con excepción de abril, mayo, junio y diciembre. El error total se distribuye en general entre regresión y error aleatorio. La pendiente mensual mayor a 1 confirma que hay problemas de regresión entre ambos métodos.

c.- Estación Sayago

En estación Sayago se obtuvo un promedio anual de la diferencias entre las medias de las estimaciones mensuales de Papadakis y Penman Monteith (período 1981-1996) que correspondió a un sesgo anual valor 2,17 con un desvío estándar de 0,79. Se realizó una comparación estadística entre el método de Papadakis con sesgo anual y el de referencia que se presenta en el siguiente cuadro.

Cuadro 34. – Análisis comparativo estadístico anual entre Papadakis, Papadakis ajustado mediante sesgo anual comparados ambos con el método recomendado

Análisis anual	Método de Papadakis	Método de Papadakis ajustado
		Sesgo anual
Error total	5,30	0,49
Sesgo	89	0
Regresión	3	28
Error	8	72
Correlación	0,93	0,94
Dif de medias	2,17	-0,0088
Alfa	0,00	0,92
Fo	1,62	1,54
Alfa	0,0004	0,049
Pendiente	1,62	0,80

En el cuadro 34 se observa que con el método de Papadakis ajustado anual hay una disminución en el error total. En el método original el error total correspondía al sesgo en un 89% y ahora corresponde al error aleatorio en un 72%. La correlación aumentó. No hay diferencias en las medias entre Papadakis ajustado anual y el método recomendado ($p > 0,05$) pero si hay diferencia en las varianzas, ($p < 0,05$). Con el método ajustado se observa una pendiente menor a 1 lo que indica que no hay un ajuste adecuado.

El análisis estadístico mensual del comportamiento del método ajustado con respecto al método de referencia se detalla en el cuadro 35.

Cuadro 35. – Partición de las diferencias, diferencias de medias con valores de significancia y correlación mensuales entre las estimaciones de Papadakis con ajuste anual y Penman Monteith recomendado

	Total	Sesgo	Regresión	Error	Dif de medias	α	Pendiente	Correlación
Enero	1,27	0,54	0,41	0,05	-0,83	0,09	0,32	0,91
Febrero	0,94	0,43	0,35	0,23	-0,63	0,16	0,50	0,83
Marzo	0,61	0,74	0,14	0,12	-0,67	0,03	0,56	0,85
Abril	0,14	0,20	0,66	0,14	-0,17	0,37	0,31	0,83
Mayo	0,11	0,04	0,14	0,82	-0,07	0,69	-0,93	0,5
Junio	0,18	0,18	0,23	0,59	0,18	0,41	0,96	0,01
Julio	0,27	0,72	0,03	0,24	0,44	0,03	-0,71	0,31
Agosto	0,28	0,23	0,46	0,31	0,25	0,34	0,42	0,71
Setiembre	0,66	0,42	0,04	0,55	0,53	0,17	-1,30	0,35
Octubre	0,52	0,67	0,13	0,20	0,59	0,05	0,53	0,61
Noviembre	0,63	0,61	0,36	0,03	0,62	0,07	0,44	0,96
Diciembre	0,37	0,32	0,51	0,17	-0,35	0,24	0,42	0,86

No hay diferencias significativas entre las medias ($p > 0,05$) a excepción de los meses de marzo y julio. La correlación es alta salvo en junio, julio y setiembre. Las pendientes mensuales confirman que no hay un ajuste adecuado al método de referencia, ya observado en el análisis estadístico anual.

Por lo tanto se utilizaron diferencias promedio (1981-1996) entre las medias mensuales de las estimaciones de Papadakis original y Penman Monteith recomendado que se presentan en el cuadro 36.

Cuadro 36.- Diferencias entre los promedios mensuales de las estimaciones de ETP de Papadakis y Penman Monteith recomendado en mm/día (1981-1996).

	Sesgo mensual
Enero	3,10
Febrero	2,68
Marzo	2,91
Abril	2,47
Mayo	2,37
Junio	1,73
Julio	1,64
Agosto	1,73
Setiembre	1,99
Octubre	1,41
Noviembre	1,53
Diciembre	2,43

Se realizó un estudio estadístico anual entre Papadakis y Papadakis ajustado mensual ambos comparados con el método de referencia que se detalla en el cuadro 37.

Cuadro 37. – Análisis comparativo estadístico anual entre Papadakis y Papadakis ajustado mediante sesgo mensual comparados ambos con el método recomendado

Análisis anual	Método de Papadakis	Método de Papadakis ajustado
	Original	Sesgo mensual
Error total	5,30	0,27
Sesgo	89	0
Regresión	3	4
Error	8	96
Correlación	0,93	0,95
Dif de medias	2,17	0,013
Alfa	0,00	0,85
Fo	1,62	1,14
Alfa	0,0004	0,30
Pendiente	1,62	1,06

En el cuadro se observa una disminución mayor en el error total desde el método Papadakis original al ajustado mediante sesgo mensual que con el ajuste anual. La correlación aumentó en ese mismo sentido. El mayor porcentaje del error total pertenecía al sesgo (89%) y ahora pertenece al error aleatorio (96%). Las medias y las varianzas de ambas estimaciones son iguales con un 95 % de confianza. La pendiente marcó un ajuste mayor.

En el estudio estadístico mensual se confirma el análisis anual, y se detalla en el cuadro 38.

Cuadro 38.- Partición de las diferencias, diferencias de medias con valores de significancia y correlación mensuales entre las estimaciones de Papadakis con ajuste mensual y Penman Monteith recomendado

	Total	Sesgo	Regresión	Error	Dif de medias	α	Pendiente	Correlación
Enero	0,59	0,02	0,88	0,11	-0,1	0,8	3,08	0,91
Febrero	0,55	0,03	0,59	0,38	0,122	0,75	1,99	0,83
Marzo	0,16	0,03	0,53	0,44	-0,068	0,75	1,78	0,85
Abril	0,13	0,13	0,72	0,15	-0,132	0,47	3,23	0,83
Mayo	0,12	0,14	0,12	0,73	-0,132	0,45	1,06	0,5
Junio	0,22	0,31	0,19	0,49	0,262	0,24	1,03	0,02
Julio	0,08	0,09	0,10	0,80	0,086	0,56	1,40	0,31
Agosto	0,25	0,14	0,51	0,34	0,188	0,46	2,34	0,71
Setiembre	0,50	0,24	0,05	0,72	0,346	0,33	0,76	0,35
Octubre	0,20	0,14	0,34	0,52	0,168	0,46	1,87	0,61
Noviembre	0,24	0,00	0,92	0,08	0,02	0,94	2,26	0,96
Diciembre	0,26	0,03	0,73	0,24	0,088	0,74	2,35	0,86

No hay diferencias significativas entre las medias a nivel mensual ($p > 0,05$). La correlación es variable y alta con excepción de junio, julio y setiembre. En general el mayor porcentaje del error total mensual corresponde al error aleatorio y/o a la regresión. La pendiente mensual mayor a 1 en casi todos los meses confirma que parte del error total sea de la regresión.

2.- Método de Linacre

El método de Linacre es luego del de Papadakis el de más bajo coeficiente de variación. En el análisis de nuestros datos, es el método más preciso, posee menor desvío estándar. Se observó que el mayor porcentaje de las diferencias de éste método con el de referencia correspondió al error aleatorio (ver cuadro 4, 11 y 17).

El método de Linacre ha sido utilizado por Boshell y Chiara (1982) en la Regionalización Agroclimática de la República Oriental del Uruguay. De éste estudio surgieron coeficientes de ajuste del mismo al método de Penman. (anexo, pag. 104).

En base a lo expuesto se decide analizar los datos de estimación de ETP por Linacre y Penman Monteith recomendado para poder validar al método de Linacre como método sustituto de Penman Monteith.

a.- Estación Prado

Para ajustar al método de referencia se aplicaron coeficientes que surgen de cocientes promedios mensuales entre el valor de ETP –Penman Monteith recomendado y ETP – Linacre de 10 años al azar tomados entre 1981-1996. Para estación Prado se tomaron los siguientes años: 1982,1983,1984, 1987, 1988, 1990, 1991, 1994, 1995, 1996 de donde surgen los coeficientes que se presentan en el cuadro 39.

Cuadro 39 - Coeficientes mensuales de ajuste de las estimaciones de ETP de Linacre al método de Penman Monteith recomendado hallados para la estación Prado

	Cociente: ETP- Penman Monteith / ETP – Linacre
Enero	1,07
Febrero	0,90
Marzo	0,79
Abril	0,69
Mayo	0,60
Junio	0,67
Julio	0,75
Agosto	0,86
Setiembre	1,05
Octubre	1,15
Noviembre	1,18
Diciembre	1,13

Se aplicaron estos coeficientes a los años 1985, 1986, 1989, 1992 y 1993. El detalle del análisis estadístico anual se presenta en el cuadro 40.

Cuadro 40.- Análisis comparativo estadístico anual de las estimaciones de ETP entre Linacre original y Linacre ajustado ambos comparados con Penman Monteith recomendado

	Linacre	Linacre ajustado
Error total	0,60	0,11
Sesgo	0,05	0,005
Regresión	0,07	0,000878
Error	0,88	0,99
Correlación	0,87	0,98
Dif de medias	0,18	-0,024
Alfa	0,00115	0,33
Pendiente	0,87	0,99

Linacre ajustado con respecto a Penman Monteith recomendado presenta menor error total, que el método Linacre original. El 99 % del error total correspondió al error aleatorio. Hay aumento de la correlación y pendiente próximo a 1. No hay diferencias significativas entre las medias de ambos métodos ($p > 0,05$).

Se analizó estadísticamente a nivel mensual los resultados de las estimaciones de Linacre ajustado y Penman Monteith recomendado que se presentan en el cuadro 41.

Cuadro 41 - Partición de las diferencias , diferencias de medias con valores de significancia y correlación a nivel mensual entre las estimaciones de ETP de Linacre ajustado y Penman Monteith recomendado

	Total	Sesgo	Regresión	Error	Dif de medias	Alfa	Correlación
Enero	0,11	0,13	0,02	0,85	0,12	0,49	0,79
Febrero	0,07	0,57	0,06	0,37	-0,21	0,08	0,75
Marzo	0,07	0,09	0,09	0,82	-0,08	0,56	0,60
Abril	0,03	0,45	0,30	0,25	0,11	0,14	0,88
Mayo	0,04	0,85	0,00	0,15	-0,18	0,09	0,84
Junio	0,09	0,47	0,00	0,53	0,20	0,13	0,21
Julio	0,03	0,13	0,37	0,50	-0,06	0,48	0,36
Agosto	0,01	0,04	0,14	0,83	0,02	0,71	0,92
Setiembre	0,03	0,06	0,03	0,91	0,04	0,64	0,76
Octubre	0,06	0,55	0,16	0,29	0,19	0,09	0,93
Noviembre	0,12	0,43	0,05	0,52	0,23	0,15	0,61
Diciembre	0,09	0,09	0,12	0,79	0,09	0,56	0,80

El error total mensual es bajo y pertenece en general al error aleatorio. La correlación es alta excepto en los meses de junio y julio. No hay diferencias entre las medias ($p > 0,05$). No se analiza la pendiente porque el porcentaje que le corresponde a la regresión en el error total es bajo.

b. Estación Carrasco

Para ajustar las estimaciones por el método de Linacre al método de referencia se utilizaron coeficientes que surgen de cocientes promedios mensuales entre el valor estimado de ETP –Penman Monteith recomendado y ETP – Linacre de 10 años al azar tomados entre los años 1982-1996. Para estación Carrasco se tomaron los siguientes años: 1984,1985,1988, 1989, 1990, 1991, 1992, 1993, 1995, 1996 de donde surgen los coeficientes que se presentan en el cuadro 42.

Cuadro 42 . – Coeficientes mensuales de ajuste de las estimaciones de ETP de Linacre al método de Penman Monteith recomendado para la estación Carrasco

	Coeficiente ETP- Penman Monteith/ ETP-Linacre-
Enero	1,11
Febrero	0,96
Marzo	0,89
Abril	0,79
Mayo	0,77
Junio	0,88
Julio	1,04
Agosto	1,04
Setiembre	1,21
Octubre	1,21
Noviembre	1,25
Diciembre	1,17

Se aplicaron los coeficientes obtenidos a las estimaciones por el método de Linacre de los años: 1982, 1983, 1986, 1987, 1994 y se analizó estadísticamente los resultados de la comparación entre Linacre ajustado y Penman Monteith recomendado.

Se elaboró el cuadro 43 donde se detalla el análisis estadístico anual de la comparación mencionada.

Cuadro 43.- Análisis estadístico comparativo anual de las diferencias en las estimaciones de ETP entre Linacre original, Linacre ajustado ambos comparados con Penman Monteith recomendado.

	Linacre	Linacre ajustado
Error total	0,39	0,10
Sesgo	0,04	0,00
Regresión	0,15	0,01
Error aleatorio	0,81	0,99
Correlación	0,91	0,98
Dif de medias	-0,123	-0,009
Alfa	0,01	0,69
Pendiente	0,83	0,98

Linacre ajustado con respecto a Penman Monteith recomendado presenta menor error total, perteneciendo el 99 % del mismo al error aleatorio, hay un aumento de la correlación; la pendiente se ajusta más a 1. No hay diferencias significativas entre las medias ($p > 0,05$).

En el siguiente cuadro se muestra a nivel mensual el comportamiento de las estimaciones de ETP por el método Linacre ajustado con respecto a Penman Monteith recomendado.

Cuadro 44 . - Partición de las diferencias, diferencias de medias con valores de significancia, correlación y pendientes mensuales entre las estimaciones de ETP por el método de Linacre ajustado y el método Penman Monteith recomendado

	Total	Sesgo	Regresión	Error	Dif de medias	Alfa	Correlación	Pendiente
Enero	0,40	0,06	0,07	0,87	-0,156	0,64	0,2	0,98
Febrero	0,44	0,60	0,07	0,33	-0,516	0,07	0,38	0,71
Marzo	0,17	0,36	0,03	0,61	-0,25	0,2	0,22	0,89
Abril	0,03	0,05	0,44	0,50	0,04	0,65	0,82	0,58
Mayo	0,06	0,00	0,41	0,58	-0,06	0,96	0,81	0,6
Junio	0,03	0,30	0,12	0,59	0,09	0,27	0,83	0,77
Julio	0,01	0,12	0,67	0,20	0,042	0,5	0,97	0,66
Agosto	0,08	0,12	0,47	0,41	-0,096	0,5	0,5	0,42
Setiembre	0,14	0,35	0,22	0,42	0,22	0,21	0,81	0,65
Octubre	0,10	0,09	0,19	0,71	-0,1	0,55	0,68	0,68
Noviembre	0,23	0,02	0,11	0,87	0,074	0,77	0,37	0,77
Diciembre	0,16	0,16	0,07	0,76	0,16	0,42	0,59	0,78

El error total mensual es menor en Linacre ajustado que en el original, con respecto a Penman Monteith recomendado y además le corresponde al error aleatorio el mayor porcentaje en general. No hay diferencias significativas entre las medias de ambos métodos ($p > 0,05$).

c.- Estación Sayago

Para ajustar las estimaciones de ETP por el método de Linacre al método de referencia se utilizaron coeficientes que surgen de cocientes promedios mensuales entre el valor de ETP –Penman Monteith recomendado y ETP – Linacre de 10 años al azar tomados entre 1981-1996. Para estación Sayago se tomaron los siguientes años: 1982,1983,1984, 1985, 1988, 1989, 1991, 1992, 1994, 1995 de donde surgen los coeficientes que se presentan en el cuadro 45.

Cuadro 45- Coeficientes mensuales de ajuste de las estimaciones de ETP de Linacre al método de Penman Monteith recomendado para la estación Sayago

	Coeficientes ETP Penman Monteith/ ETP Linacre
Enero	0,99
Febrero	0,89
Marzo	0,76
Abril	0,64
Mayo	0,54
Junio	0,54
Julio	0,70
Agosto	0,80
Setiembre	0,94
Octubre	1,10
Noviembre	1,09
Diciembre	1,05

Se aplicaron los coeficientes a las estimaciones mensuales de ETP Linacre de los años 1981, 1986, 1987, 1990, 1993 y 1996; los resultados fueron analizados estadísticamente comparándolo con Penman Monteith recomendado. El análisis anual se presenta en el cuadro 46.

Cuadro 46. – Análisis comparativo estadístico anual de las diferencias en las estimaciones de ETP entre Linacre original y Linacre ajustado ambos comparados con Penman Monteith recomendado

	Linacre	Linacre ajustado
Error total	0,64	0,113
Sesgo	0,31	0,02
Regresión	0,06	0,03
Error aleatorio	0,62	0,99
Correlación	0,90	0,98
Dif de medias	0,45	0,014
α	0,00	0,56
Pendiente	0,87	1,01

Linacre ajustado presenta menor error total, perteneciendo el mismo en un 99% al error aleatorio; hay aumento de la correlación, no hay diferencias significativas entre las medias ($p > 0,05$). La pendiente muestra el ajuste entre ambos métodos.

El cuadro 47 muestra los resultados de la comparación estadística mensual entre Linacre ajustado y Penman Monteith.

Cuadro 47 .- Partición de las diferencias, diferencia de medias con valores de significancia, correlación y pendientes a nivel mensual de las estimaciones de ETP de Linacre ajustado y Penman Monteith recomendado

	Total	Sesgo	Regresión	Error	Dif de medias	α	Pendiente	Correlación
Enero	0,06	0,02	0,53	0,44	0,036	0,75	2,23	0,68
Febrero	0,19	0,18	0,35	0,47	0,18	0,35	0,50	0,59
Marzo	0,05	0,09	0,23	0,68	0,068	0,52	1,54	0,68
Abril	0,03	0,50	0,08	0,42	0,13	0,073	1,39	0,42
Mayo	0,02	0,10	0,14	0,76	-0,048	0,48	1,35	0,35
Junio	0,03	0,73	0,01	0,26	-0,15	0,014	1,14	0,74
Julio	0,03	0,15	0,38	0,46	0,071	0,38	2,07	0,54
Agosto	0,01	0,26	0,01	0,73	0,045	0,24	0,97	0,97
Setiembre	0,10	0,59	0,07	0,34	-0,24	0,04	0,71	0,64
Octubre	0,21	0,43	0,01	0,56	0,3	0,11	1,08	0,41
Noviembre	0,08	0,20	0,02	0,78	0,13	0,32	0,89	0,73
Diciembre	0,12	0,04	0,28	0,68	-0,07	0,65	0,60	0,55

En el cuadro se confirma el análisis estadístico anual; bajo el error total mensual, pertenece en general al error aleatorio, salvo algunos meses en que la regresión tomó mayor valor, pero correspondió a meses con despreciable error total. No hay diferencias significativas entre las medias, ($p=0,05$), con excepción de los meses de junio y setiembre.

D. DESCRIPCIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL

1.- Estación Prado

a.- Estimación de la ETP a través del método de Penman Monteith

En los cuadros 48 y 49 se detallan los valores promedios mensuales estimados de evapotranspiración potencial a través del método recomendado para la estación Prado en el período 1981-1996.

Cuadro 48 – Estimaciones promedios mensuales de la ETP por el método Penman Monteith recomendado (mm/día) período 1981-1996 para la estación Prado

	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
Enero		5,88	5,46	5,02	5,46	5,34	5,72	5,69	6,22	5,89	5,29	4,85	5,61	5,3	5,43	5,53
Febrero		4,51	4,88	4,09	4,77	4,88	4,89	4,19	5,18	3,54	4,56	4,68	4,6	5,14	4,58	5,01
Marzo	3,11	3,92	4,1	3,55	3,67	3,33	3,93	3,32	3,5	3,32	3,62	3,56	4,04	3,92	3,45	3,6
Abril	1,78	2,51	2,44	2,16	2,11	2,28	2,49	2,78	2,52	2,12	2,03	2,31	2,35	2,5	2,18	2,06
Mayo	1,38	1,66	1,44	1,34	1,55	1,71	1,67	1,45	1,91	1,6	1,33	1,82	1,59	1,8	1,13	1,14
Junio	0,89	1,05	1,04	1,08	1,09	1,06	1,66	1,13	1,17	1,34	0,86	1,33	1,39	1,55	0,65	0,67
Julio	0,99	1,22	1,1	1,1	1,25	1,25	1,41	1,54	1,41	1,17	1,15	1,22	1,32	1,51	0,81	0,79
Agosto	1,77	1,7	1,62	1,74	1,47	1,5	1,68	2,09	2,09	2,22	1,71	1,82	1,96	2,05	1,29	1,58
Setiembre	2,33	2,38	2,54	2,07	2,14	2,6	2,72	2,76	2,41	2,17	2,65	2,84	2,4	2,7	2,37	2,25
Octubre	3,19	3,87	3,67	3,99	2,85	3,37	3,37	3,97	3,6	3,66	3,15	4,06	3	3,36	3,4	3,39
Noviembre	3,65	4,32	3,96	4,26	4,02	4,18	4,41	5,4	4,65	4,83	3,97	4,17	3,94	5,17	4,85	4,95
Diciembre	5,2	5,69	5,11	5,16	4,47	5,09	4,97	5,76	5,46	4,8	4,64	5,41	5,42	6,05	5,73	5,49

Cuadro 49 - Estimaciones promedios mensuales de la ETP por el método Penman Monteith recomendado (mm/mes) período 1981-1996 para la estación Prado

	Ene	Feb.	Mar	Abr.	May	Jun.	Jul.	Ag.	Set	Oct.	Nov.	Dic.
1981			96	53	43	27	31	55	70	99	110	161
1982	182	126	122	75	51	32	38	53	71	120	130	176
1983	169	137	127	73	45	31	34	50	76	114	119	158
1984	156	119	110	65	42	32	34	54	62	124	128	160
1985	169	134	114	63	48	33	39	46	64	88	121	139
1986	166	137	103	68	53	32	39	47	78	104	125	158
1987	177	137	122	75	52	50	44	52	82	104	132	154
1988	176	122	103	83	45	34	48	65	83	123	162	179
1989	193	145	109	76	59	35	44	65	72	112	140	169
1990	183	99	103	64	50	40	36	69	65	113	145	149
1991	164	128	112	61	41	26	36	53	80	98	119	144
1992	150	136	110	69	56	40	38	56	85	126	125	168
1993	174	129	125	71	49	42	41	61	72	93	118	168
1994	164	144	122	75	56	47	47	64	81	104	155	188
1995	168	128	107	65	35	20	25	40	71	105	146	178
1996	171	145	112	62	35	20	24	49	68	105	149	170

b.- Test de Shapiro Wilk

Si la muestra de datos de ETP pertenece a una población con distribución normal se puede caracterizar la misma a través de dos parámetros estadísticos media y varianza.

Se aplicó el test de normalidad de Shapiro Wilk (SAS/ STAT, 1996) en donde:

H_0 = los datos son una muestra aleatoria de una población con distribución normal

H_a = los datos son una muestra aleatoria de una población que no tiene distribución normal.

Se encontró que para todos los meses no fue posible rechazar la hipótesis nula, por lo cual es razonable pensar que los datos provienen de una población con distribución normal. Las medias y las varianzas se detallan en el cuadro 50.

Cuadro 50 – Media y varianza de ETP Penman Monteith recomendado - período 1981-1996 (mm/mes).

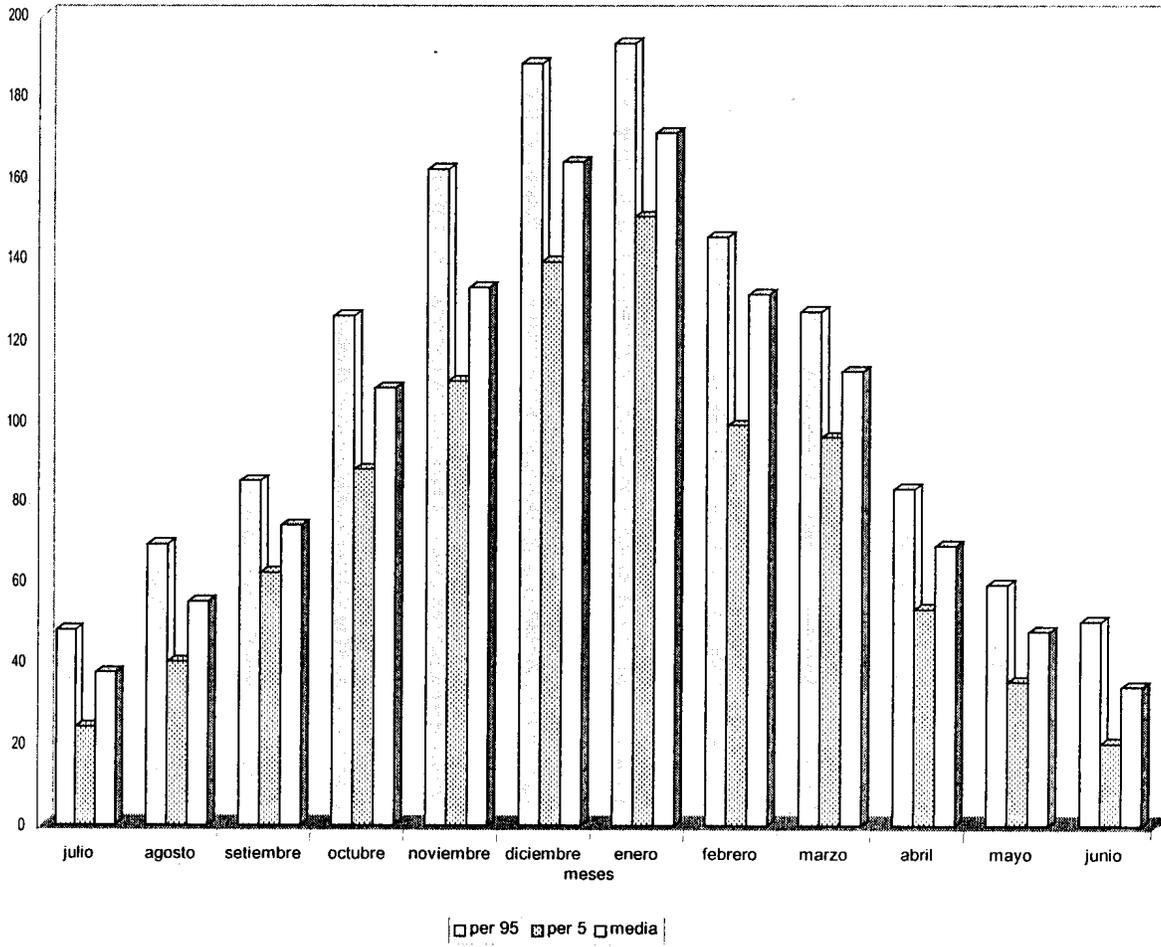
	Ene	Feb.	Mar	Abr.	May	Jun.	Jul.	Ag.	Set	Oct.	Nov	Dic.
Media	171	131	112	69	48	34	37	55	74	108	133	164
Varianza	116	143	82	56	51	73	47	64	52	126	226	179

El cuadro 51 muestra los valores de ETP mensuales correspondientes a diferentes niveles de probabilidad.

Cuadro 51 - Distribución en cuantiles de la estimación de ETP con Penman Monteith recomendado hallados para la estación Prado.

	Test	Per 95	Per 90	Per 10	Per 5
Enero	0,98284	193	183	156	150
Febrero	0,88830	145	145	119	99
Marzo	0,94728	127	125	103	96
Abril	0,97311	83	76	61	53
Mayo	0,96517	59	56	35	35
Junio	0,96134	50	47	20	20
Julio	0,95575	48	47	25	24
Agosto	0,96628	69	65	46	40
Setiembre	0,95387	85	83	64	62
Octubre	0,95806	126	124	93	88
Noviembre	0,94793	162	155	118	110
Diciembre	0,98340	188	179	144	139

Gráfico 21. Promedios mensuales y percentiles extremos de la estimación de la ETP calculados por Penman Monteith 1981-1996.



Para cada mes se presentan en el gráfico el promedio mensual de ETP con el percentil 95 y el percentil 5.

2.- Estación Carrasco

a.- Estimación de la ETP a través del método de Penman Monteith

En el cuadro 52 y 53 se detallan las estimaciones promedios mensuales de la evapotranspiración potencial a través del método de Penman Monteith recomendado hallado para la estación Carrasco en el período 1982-1996.

Cuadro 52. – Estimación promedio mensual de la ETP por el método Penman Monteith recomendado (mm/día) período 1982-1996 para la estación Carrasco

	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
Ene.	6,36	5,38	5,26	5,67	5,78	4,93	5,36	6	6,68	5,51	4,53	6,14	5,13	5,17	5,11
Feb.	4,87	5,14	4,53	5,24	5,79	4,43	3,84	5,33	3,87	4,75	4,86	4,59	4,92	4,5	3,82
Mar.	4,35	4,26	4,1	4,08	3,92	3,52	3,2	3,69	3,59	4,13	3,58	4,2	3,87	3,87	3,85
Abr.	2,87	2,64	3,11	2,39	2,82	2,13	2,59	2,59	2,3	2,43	2,47	2,7	2,46	2,54	2,38
May.	2,08	1,6	2,06	2,05	2,17	1,09	1,33	1,8	1,91	1,93	2,1	1,83	1,93	1,69	1,74
Jun.	1,2	1,28	1,35	1,52	1,55	0,92	1,03	1,21	1,8	1,32	1,57	1,44	1,63	1,45	1,75
Jul.	1,29	1,33	1,42	1,68	1,9	1	1,32	1,41	1,44	1,58	1,61	1,5	1,55	1,48	1,38
Ag.	1,99	1,92	1,9	1,91	1,83	1,29	1,84	2,02	2,45	1,97	2,17	2,33	2,17	1,63	2,61
Set.	2,77	1,99	2,19	2,6	3,22	1,94	2,48	2,37	2,56	2,82	3,01	2,53	2,72	2,9	2,78
Oct.	3,86	3,92	4,16	3,08	3,49	2,74	3,65	3,65	3,83	3,11	4,33	3,43	3,4	3,55	3,13
Nov.	4,15	4,03	4,57	4,57	5,07	3,76	4,93	4,69	5,09	3,77	4	4,11	4,79	4,68	5,13
Dic.	5,72	5,28	5,22	4,89	5,4	4,36	5,52	5,37	5,15	4,33	5,44	5,33	5,11	5,71	5,27

Cuadro 53. - – Estimación promedio mensual de la ETP por el método Penman Monteith recomendado (mm/mes) período 1982-1996 para la estación Carrasco

	ENE	FEB.	MAR	ABR	MAY	JUN.	JUL.	AG.	SET	OCT.	NOV.	DIC.
1982	197	136	135	86	64	36	40	62	83	120	125	177
1983	167	144	132	79	50	38	41	60	60	122	121	164
1984	163	131	127	93	64	41	44	59	66	129	137	162
1985	176	147	126	72	64	46	52	59	78	95	137	152
1986	179	162	122	85	67	47	59	57	97	108	152	167
1987	153	124	109	64	34	28	31	40	58	85	113	135
1988	166	111	99	78	41	31	41	57	74	113	148	171
1989	186	149	114	78	56	36	44	63	71	113	141	166
1990	207	108	111	69	59	54	45	76	77	119	153	160
1991	171	133	128	73	60	40	49	61	85	96	113	134
1992	140	141	111	74	65	47	50	67	90	134	120	169
1993	199	129	130	81	57	43	47	72	76	106	123	165
1994	159	138	120	74	60	49	48	67	82	105	144	158
1995	160	126	120	76	52	44	46	51	87	110	140	177
1996	158	111	119	71	54	53	43	81	83	97	154	163

b.- Test de Shapiro Wilk

A los datos del cuadro 53 se le aplicó el test de normalidad de Shapiro Wilk (SAS/STAT, 1996). Para todos los meses no fue posible rechazar la hipótesis nula del test, por lo cual es razonable pensar que los datos provienen de una población con distribución normal. A partir de los datos se obtuvo la media y la varianza para cada mes que se detallan en el cuadro 54.

Cuadro 54 . - Media y varianza de la ETP - Penman Monteith recomendado descripto para el período 1982- 1996 en mm/mes

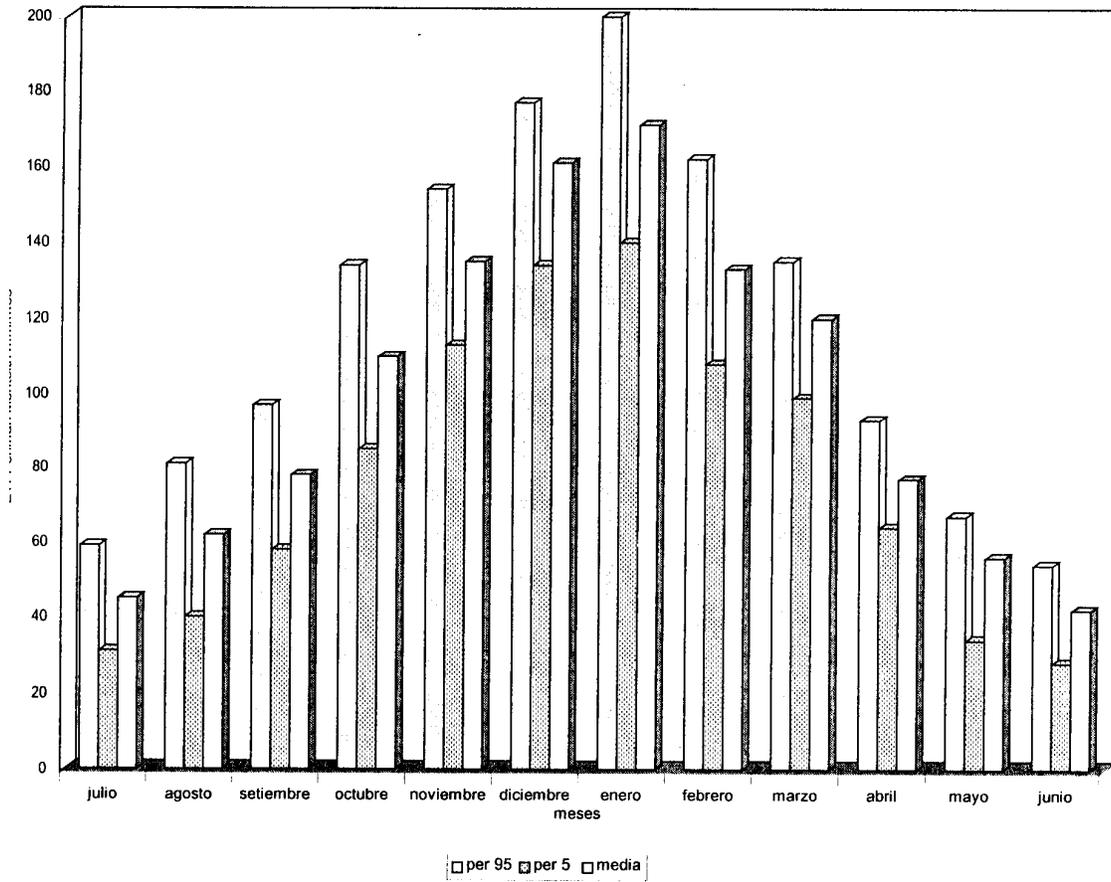
	Ene	Feb.	Mar	Abr.	May	Jun.	Jul.	Ag.	Set	Oct.	Nov	Dic.
Media	171	133	120	77	56	42	45	62	78	110	135	161
Varianza	319	232	99	54	86	57	40	99	117	181	209	162

En el siguiente cuadro se presenta la distribución de valores de estimación de la ETP según rango de probabilidades de ocurrencia.

Cuadro 55. – Distribución en cuantiles de la estimación de la ETP con Penman Monteith recomendado hallado para la estación Carrasco (mm/mes)

	Test	Per 95	Per 90	Per 10	Per 5
Enero	0,97635	207	197	153	140
Febrero	0,96990	162	149	111	108
Marzo	0,96663	135	132	109	99
Abril	0,97474	93	86	69	64
Mayo	0,88239	67	65	41	34
Junio	0,97710	54	53	31	28
Julio	0,96079	59	52	40	31
Agosto	0,96111	81	76	51	40
Setiembre	0,97307	97	90	60	58
Octubre	0,98537	134	129	95	85
Noviembre	0,91922	154	153	113	113
Diciembre	0,86423	177	177	135	134

Gráfico 22.- Promedios mensuales de estimación de la ETP por Penman Monteith 1982-1996, con sus respectivas probabilidades de ocurrencia



Para cada mes se presentan en el gráfico el promedio mensual de ETP con el percentil 95 y el percentil 5.

3.- Estación Sayago

a.- Estimación de la ETP a través del método de Penman Monteith

En el cuadro 56 y 57 se detallan los valores promedios de estimación de la evapotranspiración potencial calculados a través del método de Penman Monteith recomendado.

Cuadro 56. – Estimación promedio mensual de la ETP por el método de Penman Monteith recomendado(mm/día) en el período 1981-1996 para la estación Sayago

	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
Enero	5,39	5,81	5,48	5,11	5,83	5,63	5,44	5,41	5,51	5,73	5,42	4,74	5,45	5,1	5,18	5,35
Febrero	4,79	4,54	5,04	4,14	4,8	4,62	4,34	3,8	4,44	3,43	4,92	4,87	4,28	4,57	4,31	4,87
Marzo	3,24	4,03	4,12	3,71	3,71	3,35	3,21	3,04	3,11	3,15	3,9	3,48	3,62	3,58	3,34	3,62
Abril	2,02	2,49	2,46	2,58	2,1	2,21	2,12	2,36	2,05	2,27	1,98	2,2	2,23	1,96	2,3	2,25
Mayo	1,57	1,77	1,39	1,62	1,43	1,53	1,44	1,12	1,18	1,43	1,38	1,66	1,33	1,33	1,41	1,33
Junio	1,01	0,98	0,9	0,99	1,08	1,24	1,35	0,72	0,75	1,16	0,92	1,13	1,02	1,04	1,05	1,19
Julio	1,24	1,09	1,06	1,04	1,19	1,29	1,16	1,29	0,92	1,08	1,18	1,22	1,12	1,09	1,25	1,05
Agosto	1,95	1,67	1,61	1,69	1,51	1,48	1,41	1,65	1,54	2,24	1,8	1,78	1,78	1,77	1,66	2,13
Setiembre	2,68	2,4	2,61	2,14	2,22	2,83	2,4	2,34	1,54	2,03	2,75	2,59	2,26	2,42	2,73	2,47
Octubre	3,7	3,87	3,76	4,14	2,91	3,42	2,99	3,53	3,24	3,62	3,3	4,04	2,95	3,2	3,67	3,11
Noviembre	4,3	4,19	3,84	4,36	4,15	4,26	3,9	4,64	4,43	4,85	4,22	4,07	3,96	4,43	4,67	4,82
Diciembre	5,87	5,79	5,2	5,32	4,83	5,14	4,54	5,05	5,25	4,74	4,84	5,25	5,15	5,24	5,74	5,03

Cuadro 57.- Estimación promedio mensual de la ETP por el método de Penman Monteith recomendado(mm/mes) en el período 1981-1996 para la estación Sayago

	ENE	FEB.	MAR	ABR.	MAY	JUN.	JUL.	AG.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
1981	167	134	100	61	49	30	38	60	80	115	129	182
1982	180	127	125	75	55	29	34	52	72	120	126	179
1983	170	141	128	74	43	27	33	50	78	117	115	161
1984	158	120	115	77	50	30	32	52	64	128	131	165
1985	181	134	115	63	44	32	37	47	67	90	125	150
1986	175	129	104	66	47	37	40	46	85	106	128	159
1987	169	122	100	64	45	41	36	44	72	93	117	141
1988	168	110	94	71	35	22	40	51	70	109	139	157
1989	171	124	96	62	37	23	29	48	46	100	133	163
1990	178	96	98	68	44	35	33	69	61	112	146	147
1991	168	138	121	59	43	28	37	56	83	102	127	150
1992	147	141	108	66	51	34	38	55	78	125	122	163
1993	169	120	112	67	41	31	35	55	68	91	119	160
1994	158	128	111	59	41	31	34	55	73	99	133	162
1995	161	121	104	69	44	32	39	51	82	114	140	178
1996	166	141	112	68	41	36	33	66	74	96	145	156

b.- Test de Shapiro Wilk

A los datos del cuadro anterior se le aplicó el test de normalidad de Shapiro Wilk; no rechazándose la hipótesis nula en ninguno de los meses. En el cuadro 58, se presentan las medias y las varianzas mensuales.

Cuadro 58.- ETP Penman Monteith recomendado descripto a través de media y varianza para el período 1981-1996 en mm/mes

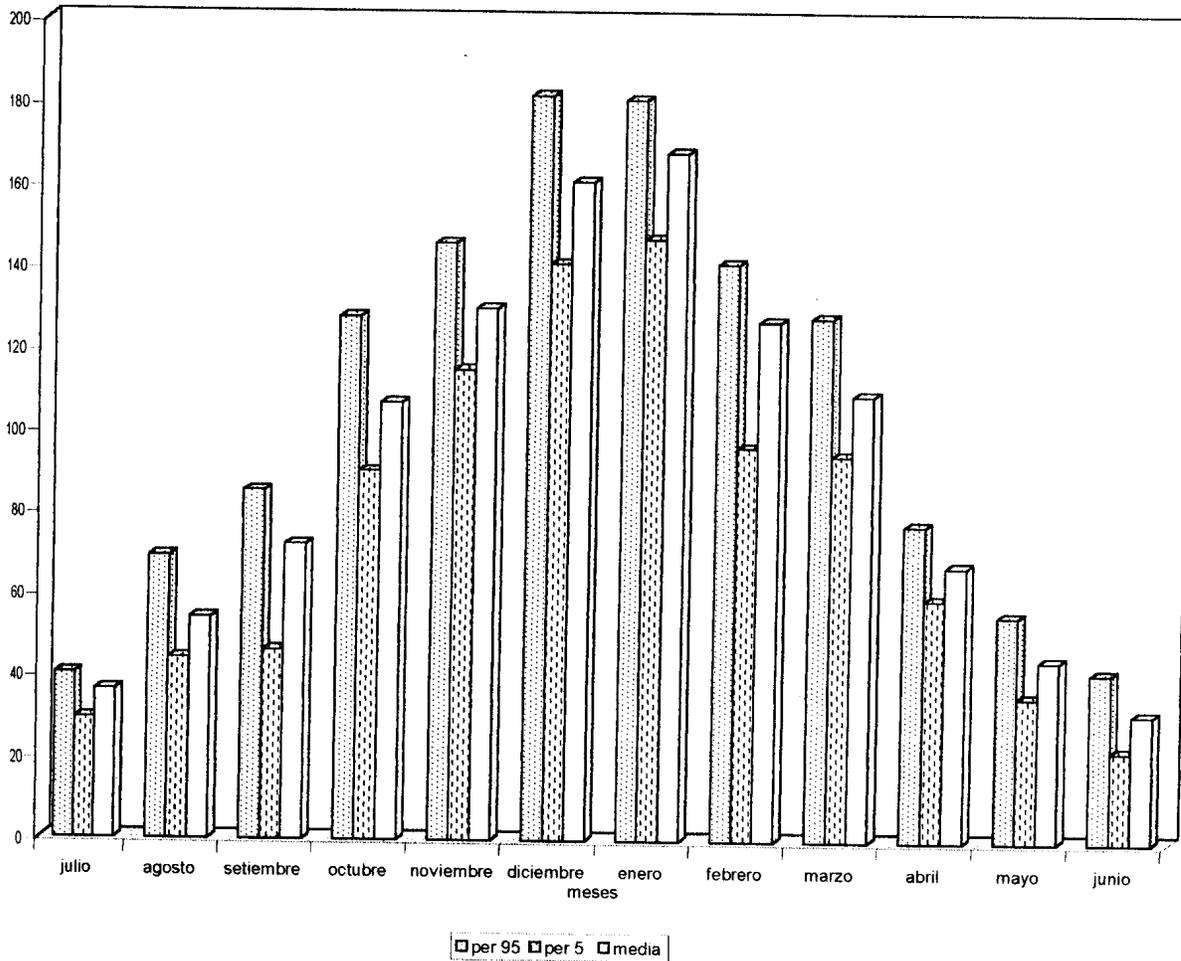
	Ene	Feb.	Mar	Abr.	May	Jun.	Jul.	Ag.	Set	Oct.	Nov	Dic.
Media	168	127	109	67	44	31	36	54	72	107	130	161
Varianza	78	149	106	30	27	24	10	47	96	145	88	131

En el cuadro 59 se detallan algunos percentiles para los niveles de estimación de ETP.

Cuadro 59. – Distribución en cuantiles de la estimación de ETP con Penman Monteith recomendado hallados para la estación Sayago.

	Test	Per 95	Per 90	Per 10	Per 5
Enero	0,94548	181	180	158	147
Febrero	0,91470	141	141	110	96
Marzo	0,95922	128	125	96	94
Abril	0,96097	77	75	59	59
Mayo	0,97214	55	51	37	35
Junio	0,97979	41	37	23	22
Julio	0,95749	40	40	32	29
Agosto	0,92222	69	66	46	44
Setiembre	0,92199	85	83	61	46
Octubre	0,95945	128	125	91	90
Noviembre	0,96536	146	145	117	115
Diciembre	0,94391	182	179	147	141

Gráfico 23.- Promedios mensuales y percentiles extremos de la estimación de ETP por Penman Monteith (1981-1996).



Para cada mes se representan en el gráfico el promedio mensual de estimación de ETP por el método recomendado con el percentil 95 y el percentil 5.

V.- CONCLUSIONES

De los diferentes métodos de estimación de la evapotranspiración potencial comparados con respecto al método de referencia, el más exacto es *Penman- FAO*, con menor error total, alto coeficiente de correlación y pendiente aproximada a 1. No hay diferencias significativas ni entre las medias ni entre las varianzas. Sin embargo, el método Penman FAO, al igual que el método recomendado, utiliza varias variables climáticas lo cual no resulta en una simplificación de la estimación.

Dentro de los métodos que utilizan menos elementos climáticos, el de *Linacre* presentó bajo coeficiente de variación, utiliza como única variable la temperatura - que está disponible en todas las estaciones meteorológicas- y en comparación con el método de referencia, se observó que el mayor porcentaje de la diferencia total corresponde al error aleatorio. Se logró ajustar el método de Linacre al recomendado mediante un cociente promedio mensual. El análisis comparativo estadístico anual de Linacre ajustado con respecto al método de referencia mostró una baja en el error total, con una mayor proporción correspondiente al error aleatorio, un aumento en la correlación, no hay diferencia en la media y pendiente próxima a 1. El análisis estadístico comparativo mensual confirma el análisis anual. El método Linacre ajustado es el más adecuado como sustituto del método recomendado para la estimación de la evapotranspiración potencial en las localidades bajo estudio. Esto permitirá estimar la evapotranspiración potencial a partir de un número reducido de variables meteorológicas y con un nivel de ajuste muy satisfactorio para fines operativos.

El análisis estadístico de la evapotranspiración potencial mediante el método recomendado, indica que la población a la cual pertenece la muestra, tiene distribución normal, por lo cual se realizó una descripción estadística en las tres estaciones meteorológicas. A partir de ello y manejando diferentes niveles de probabilidad, técnicos y productores podrán ajustar la estimación de las necesidades de agua de los cultivos, para la elaboración de planes de manejo a escala predial, en la región Sur del Uruguay.

VI. RESUMEN

El objetivo del presente trabajo es analizar el comportamiento de los diferentes métodos que se citan en la bibliografía para estimar la evapotranspiración potencial en la región sur del Uruguay.

Para ello se recabó información en tres estaciones meteorológicas Carrasco, Prado y Sayago en el periodo 1981- 1996. Se analizó y se caracterizó con parámetros estadísticos descriptivos (media y varianza) el comportamiento de la evapotranspiración potencial en la región, con datos surgidos de la aplicación del método Penman Monteith recomendado por la FAO período 1981-1996.

Al pertenecer la muestra de datos de evapotranspiración potencial a una población con distribución normal se determinó máximos y mínimos valores de demanda atmosférica con niveles de probabilidad de ocurrencia, herramienta imprescindible en la planificación de sistemas de riego y previsión de agua.

Los datos usados fueron registros diarios de temperatura máxima, temperatura mínima, temperatura del bulbo seco, temperatura del bulbo húmedo, humedad relativa, recorrido del viento, evaporímetro de Piché, evaporación del Tanque A, precipitación y heliofanía. Se incluyeron dichas variables en las ecuaciones de los métodos seleccionados de la bibliografía Penman FAO, Linacre, Papadakis, Priestley Taylor, Tanque A y se testó cada uno de ellos con el método recomendado por los expertos de la FAO, Penman Monteith modificado (Smith, 1991).

Los resultados muestran que el método Penman FAO es el que posee mayor ajuste a Penman Monteith recomendado pero al igual que éste requiere para su aplicación varias variables climáticas.

Papadakis y Linacre son los métodos sustitutivos más precisos, con bajo coeficiente de variación. Mediante un sesgo mensual (diferencia de medias mensuales promedio 1981-1996) en el caso de Papadakis y un coeficiente mensual (cociente de medias entre ETP Penman Monteith sobre ETP Linacre promedios mensuales período 1981-1996) en Linacre se logra un buen ajuste al método de referencia.

A partir de esta nueva adecuación de las ecuaciones, los productores agropecuarios podrán elaborar planes de manejo del agua a nivel predial en la región sur del país.

VII. SUMMARY

The objective of this thesis was to analyse the fitness of the different available methods to estimate the potential evapotranspiration in the south region of Uruguay.

For that purpose, information was recovered from three meteorological stations: Carrasco, Prado and Sayago in the period 1981-1996. The behaviour of the regional potential evapotranspiration was analysed and characterised with statistical descriptive parameters (mean and variance) with data obtained from the application of the Penman Monteith method, recommended by FAO during the period 1981-1996 in the three meteorological station previously mentioned.

Because the potential evapotranspiration data sample belong to a population with normal distribution, maximum and minimum atmospheric demand values were determined with their probability of occurrence, essential data in an irrigation project and water foresight.

The analysed data were daily registers of maximum temperature, minimum temperature, dry bulb temperature, humid bulb temperature, relative humidity, wind run, Piche evaporimeter, Class A pan evaporation, precipitation and sunshine duration. Those variables were included in the equation from the Penman FAO, Linacre, Papadakis, Priestley Taylor, Class A pan selected methods and each of them tested with the Penman Monteith modified method (Smith, 1991) recommended by FAO.

The results show that the Penman FAO method is the one which posses a better adjustment to the recommended Penman Monteith. However, both require several climatic variables for it application.

Papadakis and Linacre are the most precise substitute methods with low variation coefficient. By using a monthly correction (the mean monthly difference in the period 1981-1996) for Papadakis and a monthly coefficient (the ratio of the ETP Penman Monteith mean monthly and the mean monthly ETP Linacre for the period 1981-1996) for Linacre, it was obtained good agreement to the reference method.

From this new equations fit, the farmers could elaborate a project for the water management at a regional level in the south region of the country.

VIII. - BIBLIOGRAFÍA

1. AGORIO, CH.; CARDELLINO, G.; CORSI, W.; FRANCO, J.; 1988. Estimación de las necesidades de riego en Uruguay. Montevideo, Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Dirección General de Recursos Naturales Renovables. División Uso y Manejo del Agua. pp. 1-17.
2. BOSHELL, F.F.; CHIARA, J.P. 1982. Regionalización Agroclimática de la República Oriental del Uruguay. Montevideo, Ministerio de Defensa Nacional. Dirección Nacional de Meteorología. Nota Técnica n° 50. pp. 6.
3. BURGOS, J.J., CORSI, W. 1978. Estimación del balance de agua en la República Oriental del Uruguay In IV Reunión Asesora del Programa de Conservación y Manejo de Tierras y Agua – Zona Sur. (6ª, 1978, Montevideo, Uruguay). Ministerio de Transporte y Obras Públicas. Ministerio de Agricultura y Pesca. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. OEA. pp. 111-124.
4. BURMAN, R.; POCHOP, L.O., 1994. Evaporation, Evapotranspiration and climatic data. U.S.A. Elsevier, pp.250. (Developments in Atmospheric Science 22)
5. CONTI, GIAGNONI, MOSCHIN., 1987. Metodología de estimación de la evapotranspiración potencial; su evaluación en Castelar. INTA, Publicación N° 27 Buenos Aires. 14 pp.
6. CASTELLVÍ, F.; PEREZ, P.J.; STOCKLE, C.O.; IBAÑEZ, M., 1997. Methods for estimating vapor pressure deficit at a regional scale depending on data availability. Agricultural and Forest Meteorology .87:243-252.
7. CASTELLVÍ, F.; PEREZ, P.J.; VILLAR, J.M.; ROSSELL, J.I., 1996. Analysis of methods for estimating vapor pressure deficits and relative humidity. Agricultural Foresty Meteorology .82: 29-45.

8. CHIEW, F.H.S.; KAMALADASA, H.M.; MALANO, T.A.; McMAHON, A. 1994. Penman Monteith, FAO - 24 reference crop evapotranspiration class A pan data in Australia. *Agricultural Water Management*. 28(1995): 9-21.
9. CHIARA, J.P.; CRUZ, G.; 1997. Preliminary results from the implementation of SPUR 2 model in Uruguay. *Climate Research*. vol. 9 : 9-15.
10. DAMARIO, E.A.; CATTANEO, C.L. 1982. Estimación climática de la evapotranspiración potencial en la Argentina según el método de Penman 1948. *Revista Facultad de Agronomía* 3 (3): 271-292
11. DÍAZ CLARA, W.C.; 1977. Evapotranspiración y balances hídricos de algunas localidades del Uruguay – Método de Papadakis. Montevideo, Ministerio de Defensa Nacional. Dirección Nacional de Meteorología del Uruguay. *Climatología y Documentación*. Departamento de Agrometeorología. Nota técnica N° 7. pp 10.
12. DÍAZ CLARA, W.C.; 1978. Evapotranspiración y balances hídricos de algunas localidades del Uruguay – II Método de Thornthwaite. Montevideo, Ministerio de Defensa Nacional. Dirección General de Meteorología del Uruguay. *Climatología y Documentación*. Departamento de Agrometeorología. Nota técnica N° 10. pp 12.
13. DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O., 1990. Las necesidades de agua de los cultivos. Roma F.A.O. (Estudio FAO Riego y Drenaje, N° 24)
14. FATTORELLI, S.; SCARPA, S. 1980. Calcolo dell'evapotranspirazione potenziale nell'ambiente alpino In *Sessione del Gruppo Di Lavoro F.A.O. Per la Sistemazione Dei Bacini Montani (13°, 1982, Palermo, Italia) Quaderni di Idronomia Montana* n° 4. pp. 127 - 161
15. FRÈRE, M.A. 1972. Method for the practical application of the Penman formula the estimation of potencial evapotranspiration an evaporation from a free water surface .Roma. F.A.O

16. FRÈRE, M.; RIJKS, J.Q.; REA, J. 1978. Estudio agroclimatológico de la zona andina. Ginebra. Organización Meteorológica Mundial. Nota técnica 161 Proyecto Interinstitucional /FAO/UNESCO / OMM en Agroclimatología. pp.81-105.
17. HENRY, J. 1973. Estudios sobre evapotranspiración. Montevideo, U.N.E.S.C.O. pp.180.
18. HESS, T. M. 1995. Potential Evapotranspiration Program for Automatic Weather Stations. Cranfield University. U. K., Silsoe Bedford. pp. 20.
19. INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS. 1994. Manejo de la información agroclimática para apoyo a la toma de decisiones en riego. Las Brujas. 25p. (I.N.I.A.. Serie de actividades de difusión N° 26).
20. JURY, W.A.; TANNER, C.B. 1975. Advection modification of the Priestley Taylor evapotranspiration formula. Agronomy Journal, 67: 840 –842.
21. LÁZARO, M.; BURGUEÑO, J.; AVEDAÑO, S.; BERTÓN, S.; GARÍN, D. ; PERDOMO, E.; PÉREZ, R.; URPICHÍA, A. 1997. Evaluación y calibración de un medidor de materia seca de forraje por capacitancia. Montevideo. P.R.O.V.A., F.U.C.R.E.A., Facultad de Agronomía. pp. 17-18.
22. LINACRE, E.T. 1977. A simple formula for estimating evaporation rates in various climates, using temperature data alone. Agricultural Meteorology. 18: 409-424
23. LIST, R.J. 1951. Smithsonian Meteorological Tables 6ª ed. Washington. pp. 350-374.
24. LUQUE, J.A. 1981. Hidrología agrícola aplicada; evaporación, evapotranspiración y uso consuntivo. Buenos Aires, Hemisferio Sur S.A. pp.145-198.
25. PAPAIOANNOU, G.; VOURAKI, K.; KERKIDES, P. 1996. Piché evaporimeter data as a substitute for Penman equation's aerodynamic term. Agricultural and Forest Meteorology .82: 83-92.

26. PARKER, B. F.; 1991. Calculation of extraterrestrial radiation In Solar Energy in Agriculture. Amsterdam, Elsevier. Energy in World Agriculture. 4: 13-22.
27. RITCHIE.J.T.; 1972. Model for predicting evaporation from a row crop with incomplete cover. Water Resources Research 8(5): 1204-1213
28. ROSENBERG, N. J.; BLAD, B. L.; VERMA, S. B.; 1983. Microclimate: The Biological Environment. New York, Wiley - Interscience .pp.209- 287.
29. SAS / STAT; 1996. User's Guide. Release.6.12.1996. Cary, N.C., U.S.A.
30. SHOUSE, P.;JURY, W.A.; STOLZY, L.H.; 1980. Use of deterministic and empirical models to predict potential evapotranspiration in an advective environment. Agronomy Journal.72: 994 -998.
31. SMITH, M.; 1991. Report on the expert consultation on procedures for revision of F.A.O. Guidelines for prediction of crop water requirements. Roma,pp.54.
32. THORNTWAITE,G.W.1943.Report of the committee on transpiration. American Geophysical Union. pp. 683- 693.
33. UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA (URUGUAY) FACULTAD DE AGRONOMÍA.1991. Práctico de Agrometeorología. Montevideo. Facultad de Agronomía. pp. 113.
34. URUGUAY. MINISTERIO DE DEFENSA. DIRECCIÓN NACIONAL DE METEOROLOGÍA. . 1996 - Normales Climatológicas Período 1961-1990, Montevideo. pp. 20.

IX. ANEXO

Procedimientos de cálculo de las variables intermedias

- TEMPERATURA

Procedimiento para el cálculo de la temperatura media en °C.

$$T_{media} = \frac{T_{max} + T_{min}}{2} \quad (\text{ec. 1})$$

- TEMPERATURA ABSOLUTA

$$T(^{\circ}K) = T(^{\circ}C) + 273,16 \quad (\text{ec. 2})$$

- PRESIÓN ATMOSFÉRICA

La presión decrece con la altitud por lo que Burman y Pochop (1994) comparan valores de presión atmosférica contra elevación dada desde las Smithsonian Meteorological Tables List, (1984) y concluyen que en latitudes medias se aplica:

$$P = P_o - 0,01055 \cdot z \quad (\text{ec. 3})$$

P_o – presión a nivel del mar promedio, 1015 mbar
(Normales climatológicas período, 1961-1990).

z - es la elevación de la estación bajo estudio (m)

P - presión atmosférica (mbar)

- PRESIÓN MEDIA DEL AIRE

$$P = P_o \cdot \frac{[T_{ko} - \eta (A - A_o)]^{g/n \cdot R}}{T_{ko}} \quad (\text{ec. 4})$$

(Burman et al., 1987 citado por Smith, 1991)

- A - altitud (m)
- A_0 - altitud a nivel del mar (m) - 0 m
- P - presión atmosférica a la elevación z (kPa)
- P_0 - presión atmosférica a nivel del mar (kPa) --101,3 kPa
- g - aceleración de la gravedad - 9,8 m/s²
- η - tasa constante de descenso del aire saturado 0,0065 °K/m
- T_{ko} - temperatura de referencia a nivel del mar 293,16 °K
- R - constante específica de gas (J/kg.°K) - 287 J/kg.°K

- HUMEDAD

Las expresiones de contenido de vapor del agua que se utilizan en el presente

- trabajo:
- Presión actual de vapor (e)
 - Presión de vapor de saturación (es)
 - Déficit de presión de vapor (VPD)

- PRESIÓN ACTUAL DE VAPOR

Arnold J.Howard (1933), citado en Práctico de Agrometeorología :

$$A = \frac{(e^s - e)}{[P^*(t - t^s)]} \quad (\text{ec. 5})$$

- t - temperatura del aire (°C)
- t^s - temperatura del bulbo húmedo(°C)
- e^s - presión de vapor de saturación a temperatura t^s (mbar)
- e - presión de vapor del aire (mbar)
- P - presión atmosférica (mbar)

Ferrel (1886) citado en Práctico de Agrometeorología obtiene

$$A = 0,00066 (1 + 0,00115 * t^s) \quad (\text{ec. 6})$$

Por resolución 145 de la Organización Meteorológica Internacional (Washington 1947) recomienda en el cálculo de la presión actual de vapor:

$$e = e^s - [0,00066*(1+0,00115 * t^s)] * P (t - t^s) \quad (\text{ec. 7})$$

El coeficiente psicrométrico A es sustituido por 0,0008 para ventilación natural (Bosen 1958 citado por Smith, 1991), incluyéndose dicho valor en el cálculo de la presión actual de vapor.

- PRESIÓN DE VAPOR DE SATURACIÓN

Por resolución 164 de la vigésima Conferencia de Directores de la Organización Meteorológica Internacional (Washington 1947) adaptado por la fórmula Goff-Gratch para la presión de vapor de saturación

Fórmula de Goff – Gratch

$$e_s = 10^{\left(-7,90298 \left[\frac{T_s}{T-1} \right] + 5,02808 * \log_{10} \left[\frac{T_s}{T} \right] - 1,3816 * 10^{-7} * \left[10^{11,334 * \left[\frac{T_s}{T} \right] - 1} \right] + 8,1328 * 10^{-3} * \left[10^{-3,49149 * \left[\frac{T_s}{T-1} \right]} \right] + \log_{10} e_{w_s} \right)} \quad (\text{ec.8})$$

e_{w_s} - presión de saturación de agua líquida a temperatura de punto vapor (1 atmósfera estándar = 1013,246 Mb).

e_s - presión de vapor de saturación sobre una superficie plana de agua líquida (Mb)

T - temperatura absoluta (°K)

T_s - temperatura del punto de vapor (373,16 °K)

T_o - temperatura de punto de hielo (273,16 °K)

No existe una exacta integración de esta fórmula que responda satisfactoriamente al valor de la presión de vapor pero da valores en el medio del rango sugerido por muchos autores. Otra fórmula de resultados similares es el propuesto por Tetens, (1930) citado por Smith (1991)

$$e_a = 0,611^{17,27 * T / (T + 237,3)} \quad (\text{ec. 9})$$

e_a - presión de vapor de saturación (kPa)

T - temperatura media (°C)

Castellví et al., (1997) recomienda la utilización del promedio de las presiones de vapor de saturación calculado con la temperatura máxima y mínima.

- DÉFICIT DE PRESIÓN DE VAPOR

El cálculo de VPD es requerido en los métodos de Penman Monteith, Priestley Taylor y Penman FAO.

Castellví, Pérez, Stockle, Ibañez^A(1997) plantean diferentes métodos según los datos disponibles. Ante falta de estudios de investigación nacional se optó por utilizar el método recomendado por la FAO que además es el más ampliamente usado

$$VPD = \frac{[e^*(T_{\text{máx}})+e^*(T_{\text{mín}})]}{2} - e^*(T_{\text{dew}}) \quad (\text{ec. 10})$$

(Jensen et al. , 1990; Smith et al. ,1991.)

- TASA DE CAMBIO DE LA PRESIÓN SATURANTE DE VAPOR EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA $-\Delta -$

Se aplicó la fórmula de Goff- Gratch a la temperatura media menos 0,5 °C y a la temperatura media más 0,5 °C obteniéndose por diferencia cuanto varía la presión saturante de vapor por grado centígrado. (Penman FAO)

- PENDIENTE DE LA CURVA DE PRESIÓN DE VAPOR Y TEMPERATURA MEDIA

$$\Delta = \frac{4098 * e_a}{(T + 237,3)^2} \quad (\text{Smith, 1991}) \quad (\text{ec. 11})$$

e_a - presión de vapor de saturación (kPa) (ver ec. 9)

- COEFICIENTE PSICROMÉTRICO

$$\gamma = \frac{c_p \cdot P}{\varepsilon \cdot \lambda} \quad (\text{ec. 12})$$

γ - coeficiente psicrométrico (kPa/°C)

c_p - calor específico del aire húmedo (1,013 kJ/kg.°C)

P – presión atmosférica (kPa) (ver ec. 3)

λ - calor latente de vaporización (MJ kg⁻¹)

$$\lambda = 2,501 - (2,361 \cdot 10^{-3}) \cdot T \quad (\text{ec. 13})$$

(Harrinson, 1963 citado por Smith, 1991)

T – temperatura media (°C)

ε –tasa de peso molecular de agua en aire seco - 0,622

- VIENTO V_{2m} ⁴

El recorrido del viento es a 2 m, cuando la información es tomada a otra altura se calibra a la altura de 2 m utilizando la siguiente función:

$$V_{2m} = V_m \cdot [2 / Z_m]^a \quad (\text{ec. 14})$$

(Jensen, 1974 citado por Burman, Pochop, 1994)

V- velocidad del viento (m/s)

Z - es la elevación sobre la superficie del suelo en m.

m - es la altura del nivel de medida (m)

a - exponente adimensional que toma valor 0,2 (Jensen, 1974).

- RADIACIÓN SOLAR

Recopilación citada por Smith (1991) de diferentes autores

- Radiación astronómicamente posible

$$R_a = \frac{G_{SC}}{\pi} \cdot dr [\omega \text{ sen}(L) \cdot \text{sen}(\delta) + \cos(L) \cdot \cos(\delta) \cdot \text{sen}(\omega)] \quad (\text{ec. 15})$$

(Duffie y Beckman, 1980)

- Declinación en radianes

$$\delta = 0,409 \cdot \text{sen} \left(\frac{2\pi \cdot J - 1,39}{365} \right) \quad (\text{Duffie y Beckman, 1980})$$

- Angulo horario

$$\omega = A \cos(-\text{Tan}(L) \cdot \text{Tan}(\delta)) \quad (\text{Duffie y Beckman, 1980})$$

- Distancia Tierra - Sol

$$dr = 1 + 0,033 \cdot \cos \left(\frac{2\pi \cdot J}{365} \right) \quad (\text{Duffie y Beckman, 1980})$$

365

Símbolos	descripción	unidades	valores
δ	declinación solar	radianes	
ω	ángulo horario	radianes	
Gsc	constante solar	M J/m ² /día	118,08 M J/m ² /día (Fröhlich y Brusa 1981; Duncan et al.,1982; Hickey et al., 1982.)
L	latitud	radianes	
J	número de día juliano	(ene. 1 = 1)	
Ra	radiación extraterrestre	M J/ m ² / día	

- Radiación Solar Global (R s)

Se utiliza la ecuación de Angström

$$R_s / R_a = a + b n/N \quad (\text{ec. 16})$$

$$R_s = R_a (a + b n/N)$$

siendo:

Ra - radiación astronómicamente posible (M J/ m²/ día) (ver ec 15)

n/N- heliofanía relativa

a y b - coeficientes ; a= 0.21 y b=0.56 (Burgos, Corsi, 1978)

- La radiación solar absorbida se calcula a partir de

$$R_{s \text{ abs}} = R_s (1-r) \quad (\text{ec. 17})$$

siendo

r - albedo: 0.25

- Para estimar la Radiación Saliente Efectiva se utiliza la ecuación de Brunt:

$$R_{sal} = \sigma T^4 \left(0,56 - 0,079 * e \right) \left(0,1 + 0,9 * \frac{n}{N} \right) \quad (\text{ec. 18})$$

Siendo:

σ - constante de Stefan Boltzman- $8,132 \cdot 10^{-11}$ cal/cm²/ min. /K⁴

T- temperatura del aire (°K)

e- presión actual de vapor (mbar) (ec. 7)

n - duración real de la insolación (h)

N- duración astronómicamente posible de la insolación (h)

- El cálculo de la Radiación Neta se realiza como:

$$RN = R_s (1-r) - R_{sal} \quad (\text{ec. 19})$$

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

$$R_{ns} = 0,77 (0,21 + 0,56n/N) \cdot R_a$$

$$R_{nl} = 2,45 \cdot 10^{-9} (0,9n/N + 0,1) (0,34 - 0,14 \text{ Ved}) (T_{\text{máx}}^4 - T_{\text{mín}}^4)$$

R_n - radiación neta MJ/m²/día

R_{ns} - radiación neta de onda corta (MJ/m²/día)

R_{nl} - radiación de onda larga (MJ/m²/día)

R_a - radiación extraterrestre (MJ/m²/día) (ver ec. 15)

N/N - heliofania relativa

T_{máx} - temperatura máxima (°C)

T_{mín} - temperatura mínima (°C)

ed - presión actual de vapor (kPa) (ver ec. 7)

G - flujo de calor del suelo (MJ /m²/día) (se desprecia)

- Ecuación de Penman FAO

En los cálculos de evapotranspiración potencial existe una subestimación de la misma cuando las diferencias promedios mensuales entre temperatura máxima y mínima son mayores a 12 °C, debida a que la mayor parte de los casos corresponde a la advección del aire seco. Por ello la velocidad de viento a 2 m está afectado por un coeficiente de ajuste.

Amplitud térmica	Coefficiente de U
< 12	0,54
< 13	0,61
< 14	0,68

<15	0,75
<16	0,82
>16	0,89

- ◆ Coeficientes hallados entre ETP Penman / ETP Linacre, La Estanzuela, Bella Unión, Prado (Boshell y Chiara 1982).

	Cocientes Penman / Linacre	Diferencia máxima
Enero	1,19	0,02
Febrero	1,13	0,07
Marzo	0,96	0,01
Abril	0,79	0,05
Mayo	0,64	0,07
Junio	0,53	0,05
Julio	0,57	0,08
Agosto	0,75	0,08
Setiembre	0,99	0,02
Octubre	1,16	0,02
Noviembre	1,22	0,05
Diciembre	1,22	0,06

- ◆ Test de normalidad de Shapiro Wilk

Probabilidad $W > 0,05$

Estación	Carrasco	Prado	Sayago
Enero	0,9074	0,9683	0,4137
Febrero	0,8193	0,0638	0,1403
Marzo	0,7684	0,4384	0,6251
Abril	0,8875	0,8556	0,6549
Mayo	0,0519	0,7270	0,8411
Junio	0,9160	0,6612	0,9396
Julio	0,6733	0,5672	0,5960
Agosto	0,6784	0,5672	0,7460
Setiembre	0,8652	0,5370	0,1830
Octubre	0,9827	0,6055	0,6290
Noviembre	0,1870	0,4474	0,7303
Diciembre	0,0276	0,9700	0,3930

AÑO 1982

SECCION SAGEO

Latitud	fecha	hora	Temperatura C° seco	húmedo	Temperatura C° mínima	HR † Cal.	Altitud HR † Higrog.	‡	Viento a 2m	km/día	Recorrido	Piché mm/día	Tanque A mm/día	RR mm/día	Horas de sol horas	minutos	n	Heliofanía
		01-Ene-82	9:00															
		02-Ene-82	9:00															
		03-Ene-82	9:00															
		04-Ene-82	9:00															
		05-Ene-82	9:00															
		06-Ene-82	9:00															
		07-Ene-82	9:00															
		08-Ene-82	9:00															
		09-Ene-82	9:00															
		10-Ene-82	9:00															
		11-Ene-82	9:00															
		12-Ene-82	9:00															
		13-Ene-82	9:00															
		14-Ene-82	9:00															
		15-Ene-82	9:00															
		16-Ene-82	9:00															
		17-Ene-82	9:00															
		18-Ene-82	9:00															
		19-Ene-82	9:00															
		20-Ene-82	9:00															
		21-Ene-82	9:00															
		22-Ene-82	9:00															
		23-Ene-82	9:00															
		24-Ene-82	9:00															
		25-Ene-82	9:00															
		26-Ene-82	9:00															
		27-Ene-82	9:00															
		28-Ene-82	9:00															
		29-Ene-82	9:00															
		30-Ene-82	9:00															
		31-Ene-82	9:00															
		01-Feb-82	9:00															
		01-Mar-82	9:00															
		01-Abr-82	9:00															
		01-May-82	9:00															
		01-Jun-82	9:00															
		01-Jul-82	9:00															
		01-Ago-82	9:00															
		01-Sep-82	9:00															
		01-Oct-82	9:00															
		01-Nov-82	9:00															
		01-Dic-82	9:00															

Tablas de comportamiento

para

Estación Prado

Temperatura mínima °C		enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	setiembre	octubre	noviembre	diciembre
1981					15,64	14,11	14,61	7,87	7,48	9,61	11,01	14,73	16,82
1982		17,68	18,10	18,10	17,58	15,91	11,55	9,86	7,92	8,31	11,72	13,12	17,93
1983		20,16	18,27	18,27	15,60	13,02	10,25	6,64	5,67	7,79	12,63	15,90	17,80
1984		20,31	20,04	20,04	17,04	13,69	9,89	7,66	6,58	6,35	10,13	14,10	14,35
1985		18,06	18,45	18,45	16,84	13,07	10,29	9,55	8,90	7,93	12,91	16,16	16,35
1986		19,70	18,73	16,12	15,39	10,88	10,88	9,76	6,85	8,25	12,14	14,14	16,28
1987		18,38	19,19	18,59	14,41	8,74	8,74	7,46	9,27	8,63	11,70	15,37	16,67
1988		18,88	18,25	18,70	12,08	8,76	8,76	5,23	6,36	7,90	10,46	14,26	17,30
1989		19,45	19,59	17,29	13,21	10,35	10,35	7,81	6,80	8,47	11,59	14,68	18,73
1990		19,49	20,29	16,20	13,79	9,99	9,99	6,57	7,25	9,07	13,40	15,17	15,35
1991		17,96	17,40	17,35	14,73	12,88	12,88	8,69	7,56	11,51	11,88	14,21	17,94
1992		18,62	19,53	18,36	14,49	11,06	11,06	10,28	5,98	7,47	12,22	13,86	16,92
1993		19,54	18,30	17,52	15,42	11,33	11,33	8,62	6,28	7,43	12,83	15,70	16,51
1994		17,43	18,52	17,41	13,61	13,61	12,03	9,87	7,54	9,31	12,83	15,70	16,51
1995		18,77	17,72	16,73	14,50	10,54	10,54	6,94	7,17	11,28	11,80	14,35	18,84
1996		18,11	18,42	17,76	14,69	9,57	9,57	6,67	4,88	9,75	11,33	15,12	17,51
media		18,84	18,72	17,17	14,13	10,80	10,80	8,09	7,03	9,16	13,53	15,69	18,29
var		0,76	0,65	0,86	0,96	2,09	2,09	2,08	1,19	0,96	1,39	0,67	1,35
std		0,87	0,81	0,92	0,98	1,45	1,45	1,44	1,09	1,18	0,83	0,82	1,16
C.V.		5	4	5	7	13	13	18	15	12	7	6	7

AMPLITUD TERMICA

°C

	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	setiembre	octubre	noviembre	diciembre
1981	10,01	7,82	4,02	3,40	2,67	2,92	3,27	3,93	3,63	5,21	4,63	5,56
1982	8,50	8,33	8,79	7,40	8,14	4,21	6,44	7,53	6,62	9,01	8,97	9,98
1983	7,60	7,11	9,53	8,49	7,25	6,83	7,34	7,36	7,74	8,35	7,19	8,20
1984	8,95	9,18	7,62	7,31	7,62	4,94	5,59	7,88	6,77	9,97	8,27	8,62
1985	8,21	8,92	8,47	7,78	8,50	6,78	6,75	7,83	7,51	6,92	7,89	8,57
1986	10,67	9,33	7,48	7,24	7,18	7,48	8,59	6,81	8,16	7,97	8,90	9,75
1987	9,17	6,87	7,59	7,88	7,25	8,88	7,75	6,62	8,36	8,33	8,13	8,06
1988	10,27	8,86	6,70	7,96	6,53	8,93	8,78	8,52	10,30	9,59	11,19	10,91
1989	9,87	5,86	7,90	9,63	9,14	8,71	7,98	8,05	8,02	8,66	9,09	9,09
1990	9,32	8,98	8,08	7,67	7,56	8,38	7,35	9,88	8,02	8,87	9,59	9,26
1991	7,68	8,04	9,04	6,95	6,99	5,27	6,33	7,28	7,08	7,37	8,14	8,68
1992	8,99	8,06	8,12	6,55	6,63	6,34	6,34	8,93	8,23	9,36	6,88	8,96
1993	8,37	8,17	9,19	7,21	6,37	6,48	6,71	8,67	7,01	7,17	6,22	9,03
1994	7,87	7,83	7,69	7,43	7,48	6,14	6,73	7,60	7,36	7,91	9,49	9,29
1995	9,25	8,85	8,02	7,13	7,05	7,39	6,95	7,90	8,16	8,48	9,04	9,48
1996	8,98	8,15	8,75	7,08	8,99	7,65	8,28	10,09	8,09	7,48	9,19	8,91
media	0,84	0,86	1,52	7,32	7,21	6,71	6,95	7,80	7,57	8,17	8,30	8,90
var	0,92	0,93	1,23	1,22	1,99	2,79	1,65	1,88	1,72	1,30	2,22	1,20
std	10	11	16	17	20	25	1,28	1,37	1,31	1,14	1,49	1,10
C.V.							18	18	17	14	18	12

Radiación neta mm de agua equivalente	Radiación neta												
	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	setiembre	octubre	noviembre	diciembre	
1981			3,04		1,75	0,81	0,26	0,37	1,14	2,19	3,76	4,60	5,70
1982	5,35	4,36	3,73	3,73	1,84	0,61	0,32	0,38	1,01	2,14	3,63	4,53	5,28
1983	5,38	4,57	3,40	3,40	1,77	0,70	0,06	0,28	0,95	2,19	3,72	4,24	5,28
1984	5,35	4,17	3,39	3,39	1,55	0,55	0,21	0,46	1,01	2,07	3,78	4,66	5,30
1985	5,35	4,68	3,20	3,20	1,79	0,64	0,36	0,33	1,14	2,12	3,26	4,22	5,32
1986	5,28	4,54	3,07	3,07	1,88	0,59	0,31	0,28	1,15	2,23	3,54	4,40	5,24
1987	5,78	4,78	3,43	3,43	1,82	0,47	0,10	0,40	1,11	2,26	3,42	4,56	5,17
1988	5,58	4,14	3,13	3,13	1,62	0,47	0,04	0,31	1,08	2,22	3,55	4,82	5,36
1989	5,64	4,46	3,19	3,19	1,86	0,54	0,17	0,26	1,01	2,24	3,41	4,72	5,47
1990	5,45	3,70	3,21	3,21	1,78	0,54	0,12	0,34	1,06	2,05	3,64	5,11	5,08
1991	5,39	4,62	3,32	3,32	1,67	0,76	0,29	0,39	1,09	2,24	3,28	4,52	5,06
1992	5,17	4,70	3,32	3,32	1,69	0,60	0,33	0,34	1,06	2,33	3,88	4,54	5,27
1993	5,22	4,39	3,41	3,41	1,65	0,57	0,26	0,25	0,99	2,10	3,31	4,34	5,29
1994	5,20	4,82	3,29	3,29	1,69	0,76	0,16	0,30	1,01	2,19	3,42	3,97	4,71
1995	5,29	4,43	3,19	3,19	1,81	0,63	0,19	0,25	0,95	2,20	3,42	4,75	5,47
1996	5,40	4,71	3,36	3,36	1,72	0,59	0,03	0,24	1,10	2,11	3,49	4,86	5,42
media	5,39	4,47	3,29	3,29	1,74	0,61	0,20	0,32	1,05	2,18	3,53	4,55	5,28
var	0,03	0,08	0,03	0,03	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,03	0,07	0,04
std	0,16	0,28	0,16	0,16	0,09	0,10	0,11	0,06	0,06	0,08	0,18	0,27	0,21
C.V.	3	6	5	5	5	16	53	19	6	3	5	6	4

VPD mb	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	setiembre	octubre	noviembre	diciembre
1981			4,83	2,60	2,68	1,87	1,71	3,39	3,25	4,20	4,06	7,21
1982	12,68	8,84	8,09	6,79	5,53	3,15	3,62	4,43	4,81	7,36	7,63	12,94
1983	10,86	10,06	9,16	6,39	4,07	3,30	3,39	3,97	4,85	6,33	6,38	9,20
1984	8,72	7,89	6,88	6,71	5,06	3,29	2,83	4,19	3,68	7,78	7,04	9,10
1985	10,58	9,56	8,53	4,41	4,59	3,69	3,74	3,20	4,05	4,31	7,89	7,40
1986	10,96	11,07	7,22	5,41	5,26	3,51	4,01	2,92	5,99	5,75	7,29	9,30
1987	11,41	10,00	8,35	6,27	4,52	5,72	4,15	3,78	5,15	5,70	7,44	8,33
1988	9,92	7,28	6,37	6,82	3,91	3,94	4,66	4,73	5,68	7,21	10,59	11,75
1989	12,87	12,25	7,57	7,57	6,27	4,32	4,45	5,41	4,30	6,91	8,37	10,32
1990	13,34	6,85	6,82	4,93	4,96	4,69	3,46	6,50	4,43	6,70	8,22	8,28
1991	10,41	9,51	9,04	5,67	4,56	3,02	3,83	4,64	5,87	5,65	6,38	8,39
1992	7,29	8,74	7,57	5,29	5,05	4,10	3,34	4,60	5,56	7,65	6,45	9,69
1993	10,92	8,23	8,63	6,28	4,38	3,61	3,34	4,95	4,54	4,44	5,78	9,24
1994	9,01	8,83	7,45	5,24	4,54	3,87	3,64	4,95	5,14	5,22	6,90	9,77
1995	9,27	8,03	8,28	5,85	4,58	4,23	3,52	4,41	6,11	6,23	8,47	10,79
1996	10,19	10,54	8,55	6,05	4,58	4,81	3,51	4,04	5,12	5,26	9,59	9,68
media	10,56	9,18	7,71	5,69	5,09	4,69	3,57	4,50	4,91	6,04	7,40	9,46
var	2,50	1,99	1,18	1,10	0,58	0,72	0,42	1,05	0,65	1,29	2,20	2,09
std	1,58	1,41	1,09	1,05	0,76	0,85	0,65	1,02	0,81	1,14	1,48	1,45
C.V.	15	15	14	18	16	22	18	23	16	19	20	15

viento m/s	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	
1981			2,81	2,81	2,57	2,62	2,80	2,81	2,61	4,14	3,27	2,89	3,80
1982	2,29	2,06	1,81	1,81	1,83	1,62	1,85	2,05	1,82	2,15	2,24	2,10	1,96
1983	2,19	1,99	2,13	2,13	1,73	1,63	1,94	1,57	2,04	2,21	2,14	2,42	2,11
1984	1,92	1,61	1,80	1,80	1,05	1,42	2,01	2,24	1,97	2,29	2,08	2,02	2,09
1985	2,29	1,92	1,94	1,94	1,99	1,62	1,72	1,92	1,59	1,93	1,95	1,80	1,84
1986	2,16	2,01	1,89	1,89	1,72	1,93	1,62	1,68	2,15	2,29	2,15	2,14	2,03
1987	1,94	2,15	2,49	2,49	1,89	2,25	2,19	2,28	2,39	2,41	2,61	2,72	2,61
1988	2,67	2,55	2,17	2,17	2,46	2,05	1,80	2,47	2,51	2,29	2,89	2,58	2,40
1989	2,83	2,36	1,85	1,85	1,88	1,98	1,62	2,23	2,62	2,29	2,33	2,36	2,36
1990	2,10	2,03	1,60	1,60	1,28	1,73	1,86	1,69	1,86	2,01	1,84	2,02	2,03
1991	1,85	1,58	1,13	1,13	1,08	1,01	1,21	1,46	1,56	1,93	1,77	1,64	1,58
1992	2,19	1,56	1,75	1,75	2,06	2,57	2,46	2,46	2,12	2,46	2,18	2,37	2,49
1993	2,92	2,89	2,68	2,68	3,22	3,87	2,97	2,78	2,38	2,53	2,78	3,28	3,14
1994	3,25	3,44	3,55	3,55	3,30	2,79	3,44	3,23	3,26	3,18	3,07	3,41	
1995													
1996													
media	2,35	2,16	2,11	2,11	2,00	2,06	2,11	2,21	2,21	2,44	2,38	2,41	2,34
var	0,17	0,27	0,34	0,34	0,44	0,47	0,34	0,25	0,20	0,31	0,20	0,25	0,32
std	0,41	0,52	0,58	0,58	0,67	0,69	0,59	0,50	0,44	0,56	0,45	0,50	0,56
C.V.	18	24	27	27	33	33	28	23	20	23	19	21	24

Tablas de comportamiento

para

Estación Carrasco

	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	setiembre	octubre	noviembre	diciembre
1981	23,14	23,14	19,81	17,64	17,06	10,40	11,15	12,77	12,94	15,56	19,27	21,97
1982	27,11	25,40	26,23	22,90	19,48	14,17	13,47	15,47	18,60	20,65	20,84	27,08
1983	28,09	26,31	24,85	21,64	17,04	13,34	12,72	14,99	16,56	20,62	22,34	25,50
1984	27,58	27,22	24,94	21,14	17,66	12,49	12,13	13,58	16,26	22,14	21,95	22,35
1985	26,58	27,43	25,41	20,94	19,14	15,93	15,51	15,98	18,10	19,83	24,07	24,51
1986	26,96	28,21	24,00	22,68	17,96	17,02	15,71	14,87	18,77	19,29	23,45	25,36
1987	27,41	27,56	25,88	21,45	15,75	15,91	16,91	15,01	15,78	19,52	23,07	24,91
1988	27,62	24,80	25,48	19,95	15,15	13,77	13,80	15,74	16,74	19,29	23,67	27,50
1989	28,84	28,64	24,81	22,39	19,41	15,92	14,18	17,99	16,03	19,78	23,30	27,38
1990	29,70	25,43	23,63	20,83	17,38	14,70	14,23	16,55	16,34	21,78	24,10	24,24
1991	26,62	26,10	25,45	21,75	19,91	14,26	13,72	16,49	17,87	18,39	20,23	24,19
1992	25,31	26,90	25,59	20,56	17,75	16,02	12,62	16,21	17,92	21,75	19,91	25,26
1993	28,70	25,81	26,16	21,99	17,32	15,16	12,84	16,35	15,73	19,37	21,98	25,11
1994	26,00	26,52	24,83	21,14	19,55	15,96	14,39	15,67	18,52	19,21	24,05	27,13
1995	26,24	25,48	24,87	21,64	17,67	14,28	14,22	14,36	17,35	19,60	23,82	27,09
1996	26,26	28,43	25,85	21,25	17,81	14,24	12,75	19,22	17,26	20,40	24,74	26,81
media	27,01	26,46	24,86	21,24	17,88	14,60	13,77	15,70	16,92	19,82	22,55	25,40
varianza	2,24	2,01	2,18	1,42	1,71	2,51	1,97	2,27	2,05	2,26	2,69	2,76
std	1,50	1,42	1,48	1,19	1,31	1,59	1,40	1,51	1,43	1,50	1,64	1,66
C.V.	6	5	6	6	7	11	10	10	8	8	8	7

Temperatura mínima (°C)		enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
1981		18,10	18,44	14,89	17,26	13,56	14,53	7,26	6,60	8,91	10,48	14,51	16,31
1982		16,93	17,89	17,26	15,47	15,47	11,55	9,53	7,48	8,22	10,97	12,74	17,15
1983		19,22	17,78	15,27	12,78	12,78	10,05	5,98	5,56	7,83	12,28	15,76	17,48
1984		19,96	19,76	17,20	13,28	13,28	9,57	7,21	6,37	5,47	12,60	13,52	13,50
1985		17,56	17,94	16,11	12,80	12,80	9,78	9,30	8,81	8,07	12,25	15,19	15,93
1986		18,95	17,41	15,05	14,91	14,91	10,21	9,89	7,50	8,59	11,48	14,16	15,65
1987		17,85	18,76	17,78	13,34	13,34	7,92	6,59	8,38	7,40	11,30	14,71	15,79
1988		18,15	17,10	18,24	10,48	10,48	7,67	4,76	5,74	7,05	10,06	13,16	16,57
1989		18,57	18,74	16,75	13,13	13,13	9,27	7,16	6,25	9,27	10,84	14,11	17,89
1990		18,45	19,63	15,35	13,39	13,39	9,14	6,16	6,47	8,92	12,96	14,61	15,03
1991		16,79	16,27	16,24	13,54	13,54	12,17	7,79	6,66	8,62	11,06	13,67	16,94
1992		17,68	18,49	17,39	13,39	13,39	9,19	9,82	5,43	6,78	11,25	13,04	15,82
1993		18,92	17,63	16,87	14,63	14,63	10,47	7,01	6,02	8,22	12,40	14,57	15,26
1994		16,39	17,45	16,61	12,55	12,55	11,53	9,02	6,36	7,09	11,30	13,52	17,77
1995		17,27	16,64	15,31	13,35	13,35	9,18	5,34	6,04	5,71	10,21	14,29	16,64
1996		16,98	16,93	16,42	13,47	13,47	7,93	5,59	3,57	7,86	12,93	14,71	17,14
media		17,98	17,93	16,42	13,38	13,38	10,01	7,39	6,45	7,70	11,52	14,14	16,30
var		0,92	0,93	0,99	1,14	1,14	2,94	2,56	1,41	1,24	0,82	0,63	1,23
std		0,96	0,96	0,99	1,07	1,07	1,72	1,60	1,19	1,11	0,91	0,79	1,11
C.V.		5	5	6	8	8	17	22	18	14	8	6	7

Amplitud térmica
°C

	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	setiembre	octubre	noviembre	diciembre
1981	5,04	4,70	4,92	4,92	4,08	2,53	3,14	4,56	3,87	4,08	5,08	4,76
1982	10,18	7,51	8,96	8,96	7,42	7,94	4,64	5,99	7,51	7,47	9,68	8,09
1983	8,87	8,54	9,57	8,86	8,86	6,99	7,36	7,15	7,17	8,08	8,34	6,58
1984	7,63	7,46	7,74	7,86	7,86	8,10	5,52	5,75	8,11	6,41	9,54	8,43
1985	9,02	9,50	9,29	8,14	8,14	9,36	6,63	6,70	7,91	8,09	7,57	8,87
1986	8,02	10,80	8,95	7,77	7,77	7,75	7,33	8,21	6,28	7,95	7,81	9,29
1987	9,55	8,80	8,10	8,11	8,11	7,86	9,99	8,53	6,95	8,38	8,22	8,36
1988	9,47	7,70	7,24	9,47	9,47	7,48	9,04	8,06	8,20	9,69	9,23	10,51
1989	10,27	9,90	8,06	9,25	9,25	10,14	8,77	7,93	8,72	8,27	8,94	9,19
1990	11,25	5,80	8,28	8,28	7,44	8,24	8,54	7,76	7,63	8,29	8,81	9,50
1991	9,83	9,83	9,21	8,21	8,21	7,74	6,47	7,06	7,87	7,16	7,33	6,56
1992	7,64	8,41	8,20	8,20	7,17	8,57	6,52	7,19	9,43	8,86	10,50	6,87
1993	9,77	8,19	9,30	9,30	7,37	6,85	8,15	6,82	10,09	7,51	6,97	7,42
1994	9,61	9,07	8,22	8,22	8,59	8,02	6,94	8,03	8,58	8,07	7,92	10,53
1995	8,97	8,85	9,56	9,56	8,29	8,48	8,94	8,18	8,65	8,39	9,38	9,53
1996	9,28	11,50	9,44	9,44	7,77	9,88	8,66	9,18	11,35	8,67	7,47	10,03
media	9,03	8,53	8,44	8,44	7,86	7,87	7,29	7,32	8,02	7,84	8,30	8,41
var	2,05	2,94	1,39	1,39	1,46	2,87	3,24	1,38	2,75	1,54	1,71	2,61
std	1,43	1,71	1,18	1,21	1,21	1,69	1,80	1,17	1,66	1,24	1,31	1,61
C.V.	16	20	14	15	15	22	25	16	21	16	16	19

Radiación neta		enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
mm de agua equivalente													
1981		5,37	4,64	3,18	1,80	0,83	0,19	0,38	1,22	2,29	3,75	4,99	5,74
1982		5,50	4,58	3,87	1,90	0,64	0,28	0,36	1,06	2,30	3,36	4,66	5,36
1983		5,38	4,72	3,49	1,90	0,75	0,01	0,26	1,03	2,28	3,81	4,31	5,35
1984		5,26	4,19	3,50	1,67	0,60	0,17	0,37	1,10	2,14	3,63	4,56	5,06
1985		5,30	4,67	3,22	1,79	0,62	0,29	0,31	1,13	2,52	3,21	4,33	5,19
1986		5,27	4,71	3,22	1,83	0,61	0,22	0,19	1,23	2,38	3,53	4,77	5,32
1987		5,32	4,70	3,57	1,88	0,47	0,18	0,34	1,19	2,35	3,58	4,53	5,18
1988		5,51	4,18	3,12	1,73	0,49	0,07	0,34	1,13	2,22	3,57	4,98	5,50
1989		5,62	4,59	3,50	2,02	0,54	0,15	0,25	1,14	2,44	3,65	4,88	5,47
1990		5,33	3,98	3,30	1,88	0,62	0,11	0,33	1,13	2,26	3,79	5,14	5,07
1991		5,27	4,27	3,61	1,73	0,81	0,20	0,34	1,14	2,40	3,39	4,85	5,14
1992		5,05	4,57	3,26	1,72	0,55	0,29	0,30	1,08	2,33	3,67	4,37	5,03
1993		5,78	5,18	4,28	2,18	0,88	0,41	0,43	1,34	2,63	4,35	4,92	5,81
1994		5,05	4,72	3,38	1,89	0,76	0,17	0,26	1,02	2,19	3,38	4,88	5,18
1995		5,14	4,42	3,25	1,76	0,70	0,13	0,25	0,99	2,25	3,38	4,66	5,37
1996		5,19	4,14	3,40	1,67	0,60	0,02	0,25	1,12	2,24	3,55	4,82	5,14
	media	5,33	4,52	3,45	1,92	0,65	0,18	0,31	1,13	2,33	3,60	4,73	5,31
	var	0,04	0,09	0,09	0,02	0,01	0,01	0,00	0,01	0,02	0,07	0,06	0,05
	std	0,20	0,30	0,30	0,14	0,12	0,11	0,06	0,09	0,13	0,26	0,25	0,23
	C.V.	4	7	9	7	19	58	20	8	5	7	5	4

VPD mb	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	setiembre	octubre	noviembre	diciembre
1981	6,18	5,12	4,67	2,98	2,47	1,69	1,46	2,48	2,57	3,33	3,94	6,97
1982	11,82	7,98	7,56	6,09	5,29	2,91	2,94	3,99	4,80	7,11	6,30	11,40
1983	9,32	9,26	8,24	5,51	3,14	2,79	3,07	3,56	4,39	5,76	5,49	7,90
1984	8,19	7,51	6,95	6,08	4,98	2,88	2,72	3,57	3,18	6,86	6,66	8,18
1985	10,07	9,38	8,03	4,24	4,79	3,52	3,76	3,45	3,74	4,50	7,77	7,04
1986	10,37	11,01	6,99	5,77	4,87	3,31	4,27	2,93	5,90	5,05	8,09	8,57
1987	9,66	8,52	7,40	4,72	4,03	5,24	3,61	2,97	4,25	4,85	6,94	7,99
1988	9,34	6,08	5,77	5,82	3,29	3,41	3,61	4,10	4,68	6,50	8,40	10,38
1989	11,59	12,09	6,97	5,87	5,63	3,77	4,00	4,78	3,39	6,14	7,77	9,38
1990	13,76	6,31	5,76	4,05	4,13	4,31	3,04	4,97	4,00	5,80	7,46	7,98
1991	9,36	8,70	7,27	4,65	4,12	2,72	3,42	3,78	4,46	4,22	4,07	5,23
1992	5,93	8,35	6,27	4,69	4,73	3,69	3,65	4,32	5,26	7,65	5,49	8,97
1993	11,70	6,85	7,36	5,32	3,85	3,20	3,15	4,78	3,77	4,37	5,83	8,17
1994	8,39	7,98	6,72	4,80	4,49	3,83	3,40	4,42	4,76	5,15	7,43	8,54
1995	8,40	7,46	7,53	5,18	3,85	3,69	3,37	3,17	5,38	5,90	7,86	10,38
1996	8,20	11,29	7,01	4,56	4,05	4,56	3,15	6,34	4,70	4,22	8,88	9,33
media	9,52	8,37	6,91	5,02	4,23	3,47	3,29	3,98	4,33	5,46	6,78	8,53
var	3,97	3,47	0,78	0,68	0,64	0,64	0,37	0,87	0,70	1,36	2,05	2,09
std	1,99	1,86	0,88	0,82	0,80	0,80	0,61	0,93	0,84	1,17	1,43	1,44
C.V.	21	22	13	16	19	23	19	23	19	21	21	17

Viento m/s	meses											
	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	setiembre	octubre	noviembre	diciembre
1981	3,79	3,58	3,26	2,76	3,51	3,49	3,22	3,29	3,62	2,91	3,50	3,77
1982	4,03	3,65	3,46	3,33	3,21	3,22	3,21	3,22	3,50	3,17	2,81	2,70
1983	3,04	3,01	3,14	2,67	3,21	3,45	3,28	3,98	4,32	4,92	4,42	4,45
1984	4,36	4,20	3,98	5,54	4,02	4,29	4,32	3,58	4,56	4,51	4,70	4,79
1985	3,94	4,15	4,06	3,76	3,38	3,70	4,25	3,91	4,22	4,67	4,58	1,17
1986	1,41	1,42	1,27	1,09	1,17	1,27	1,15	2,05	2,84	2,65	2,73	2,41
1987	2,41	2,51	2,51	1,74	2,35	2,15	2,03	2,45	2,42	2,64	2,35	2,52
1988	2,41	2,31	2,41	2,28	1,87	1,73	2,30	2,24	2,45	3,01	2,72	2,44
1989	2,71	2,46	1,98	1,89	1,84	1,78	2,22	2,39	2,36	2,43	2,43	2,39
1990	4,32	3,95	3,32	2,37	3,71	3,88	3,31	3,99	4,65	4,07	4,46	4,98
1991	3,91	3,94	3,50	3,32	3,60	4,31	4,04	4,01	4,58	4,52	3,86	3,65
1992	4,41	4,20	3,58	3,64	3,98	4,50	3,99	3,59	4,41	5,01	4,71	4,82
1993	4,25	3,93	3,72	3,94	3,80	3,93	3,81	3,81	4,06	4,06	4,69	4,26
1994	3,98	3,83	4,16	3,78	3,08	3,91	4,00	3,80	4,15	3,69	3,44	3,33
1995	3,12	3,06	2,82	3,15	2,32	2,38	2,84	2,66	3,53	3,71	3,49	3,66
1996	3,17	3,63	3,28	3,22	1,83	3,07	2,72	3,10	3,55	3,12	3,78	3,41
	3,45	3,36	3,15	3,03	2,93	3,19	3,17	3,25	3,70	3,69	3,67	3,42
var	0,72	0,63	0,58	1,05	0,76	0,98	0,77	0,44	0,61	0,71	0,70	1,11
std	0,85	0,79	0,76	1,02	0,87	0,99	0,88	0,67	0,78	0,84	0,84	1,05
C. V.	25	24	24	34	30	31	28	20	21	23	23	31

Tablas de comportamiento

para

Estación Sayago

	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	setiembre	octubre	noviembre	diciembre
1981	27,87	28,02	24,04	21,49	20,65	14,12	15,17	17,66	17,36	20,46	23,32	27,24
1982	28,16	26,61	27,11	23,60	20,26	14,76	13,96	16,10	18,19	21,21	22,46	28,49
1983	29,56	27,29	25,73	22,37	17,71	13,32	13,17	15,44	17,20	21,13	23,19	26,77
1984	28,24	27,78	25,46	21,52	17,74	12,53	12,59	14,35	17,48	23,66	22,93	23,78
1985	28,60	28,93	26,01	21,57	18,87	16,24	15,61	15,86	18,19	20,29	24,67	25,71
1986	28,98	29,19	24,72	23,23	18,21	17,00	15,28	15,50	18,59	20,58	23,35	26,76
1987	29,04	28,22	26,42	22,72	16,74	16,36	16,95	15,16	16,80	19,99	24,48	26,07
1988	29,78	26,08	26,36	21,05	15,92	14,14	15,28	16,69	17,55	20,82	25,12	28,14
1989	30,65	29,47	26,43	22,62	19,92	16,40	14,68	18,41	18,39	20,73	23,74	28,47
1990	30,00	26,64	24,99	21,65	17,81	14,80	14,85	18,92	17,07	23,57	25,94	25,45
1991	28,37	27,73	27,43	22,49	20,52	14,52	14,35	17,25	19,26	19,95	23,27	27,88
1992	27,07	28,49	27,43	21,80	18,33	16,73	12,47	16,59	17,96	22,39	21,72	26,87
1993	29,86	26,70	27,16	22,84	17,93	14,81	13,20	16,73	16,71	20,52	22,76	25,96
1994	27,13	27,21	26,25	21,25	19,94	16,24	14,35	15,97	18,83	20,23	24,36	28,54
1995	27,65	26,78	25,91	22,43	18,54	14,49	14,76	15,37	18,16	20,23	24,51	27,90
1996	27,84	27,63	26,50	22,09	18,89	14,41	12,65	19,23	17,03	21,36	24,96	27,44
	28,68	27,67	26,12	22,17	18,62	15,05	14,33	16,58	17,80	21,07	23,80	26,97
media	1,07	0,94	0,88	0,51	1,74	1,58	1,48	1,85	0,54	1,27	1,17	1,65
var	1,04	0,97	0,94	0,71	1,32	1,26	1,22	1,36	0,73	1,13	1,08	1,28
std				3	7	8	8	8	4	4	5	5
C. V.			4	4	4	8	8	8	8	4	5	5

Amplitud térmica °C		enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	setiembre	octubre	noviembre	diciembre
1981		10,23	10,09	9,13	8,17	7,67	7,92	8,72	9,47	8,59	10,00	9,48	11,25
1982		11,53	9,38	10,24	8,70	8,89	6,27	7,15	8,92	7,71	10,66	10,21	11,25
1983		10,58	10,11	11,13	10,47	8,13	7,79	8,21	8,13	9,11	9,21	8,41	9,85
1984		8,96	8,78	9,08	9,00	9,15	6,24	7,52	8,88	8,19	11,35	9,63	10,55
1985		11,27	11,34	10,27	9,04	10,19	7,70	7,81	8,51	8,50	8,70	9,84	10,32
1986		10,38	12,83	10,66	9,42	8,93	8,49	8,77	8,48	8,69	9,61	9,85	11,53
1987		11,28	9,92	9,66	9,07	9,27	10,78	9,89	7,66	10,02	9,92	10,30	10,37
1988		11,07	7,29	8,60	9,37	6,72	4,87	8,19	8,56	9,68	10,38	11,22	12,21
1989		13,24	11,60	10,03	9,86	11,08	9,58	9,24	9,78	9,98	10,57	10,03	11,53
1990		11,82	7,88	10,45	9,30	9,27	9,47	8,87	10,94	9,49	11,55	11,67	11,34
1991		11,47	11,09	10,88	8,41	8,78	6,85	7,63	8,29	8,52	8,63	9,49	10,61
1992		9,10	9,91	10,29	8,47	8,62	6,78	7,05	9,60	8,32	10,65	8,71	10,72
1993		10,70	8,71	10,07	8,16	7,24	6,68	7,11	9,84	8,32	7,98	7,78	9,90
1994		10,07	9,20	9,55	8,61	8,45	7,13	6,82	8,16	8,06	8,48	10,19	9,85
1995		9,55	9,44	9,73	8,58	8,50	8,33	7,89	8,60	7,74	9,04	8,54	9,16
1996		10,28	10,63	9,51	8,36	9,71	8,53	8,49	10,90	8,51	8,61	10,12	10,00
media		10,72	9,89	9,96	8,94	8,79	7,71	8,08	9,04	8,71	9,71	9,72	10,65
var		1,10	1,89	0,44	0,38	1,08	2,06	0,71	0,87	0,51	1,11	0,95	0,62
std		1,05	1,37	0,67	0,62	1,04	1,44	0,84	0,93	0,71	1,06	0,97	0,78
C.V.		10	14	7	7	12	19	10	10	8	11	10	7

VPD

	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	setiembre	octubre	noviembre	diciembre
1981	10,96	9,48	8,10	8,10	5,09	4,28	2,93	3,32	5,21	5,33	6,85	11,77
1982	12,17	8,92	8,11	8,11	6,34	5,53	2,59	2,68	3,79	4,00	6,91	13,09
1983	10,18	10,05	8,80	8,80	6,23	3,61	2,44	2,75	3,48	4,69	6,32	9,42
1984	8,86	7,44	7,50	7,50	6,36	4,82	2,40	2,30	3,75	3,71	8,07	9,53
1985	12,86	9,80	8,37	8,37	4,50	3,81	3,25	3,25	2,98	3,80	4,38	7,79
1986	12,28	8,74	6,77	6,77	4,94	4,78	2,85	3,61	2,82	6,10	5,58	7,51
1987	11,71	8,60	6,10	6,10	5,38	4,13	4,54	3,58	2,78	4,38	4,16	6,00
1988	9,73	5,82	5,43	5,43	6,95	3,55	3,44	4,17	4,31	4,87	7,60	8,62
1989	10,89	9,33	5,19	5,19	3,67	3,39	3,65	3,80	4,75	5,36	5,88	9,59
1990	12,15	6,50	5,72	5,72	4,45	3,53	3,85	2,79	5,75	3,64	6,29	10,01
1991	10,96	10,93	9,71	9,71	4,42	3,72	2,71	3,03	4,46	5,68	8,19	7,57
1992	8,62	11,17	7,73	7,73	5,73	4,74	3,43	3,44	4,27	5,22	7,11	9,50
1993	12,94	7,73	8,71	8,71	6,12	4,45	3,12	3,26	5,21	4,34	6,98	11,38
1994	10,19	9,60	9,02	9,02	5,08	4,16	3,80	3,72	4,63	5,40	6,66	9,18
1995	9,82	7,32	8,08	8,08	5,80	4,77	3,84	3,69	4,08	4,96	7,66	10,89
1996	10,79	9,61	8,13	8,13	5,38	4,39	3,90	2,94	6,31	4,91	9,06	12,81
media	10,94	8,81	7,59	7,59	5,40	4,23	3,30	3,27	4,29	4,81	6,14	9,42
var	1,66	2,13	1,74	1,74	0,74	0,34	0,36	0,23	0,98	0,58	1,20	2,98
std	1,29	1,46	1,32	1,32	0,86	0,58	0,60	0,48	0,99	0,76	1,09	1,73
C.V.	12	17	17	17	16	14	18	15	23	16	18	17

