

	GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS				  		
	CARTA DE AUTORIZACIÓN						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-06	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	1 de 2

Neiva, 19 de Mayo del 2015

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El (Los) suscrito(s):

Víctor Alfonso Giraldo Silva con C.C. 1.075.253.373

Autor (es) de la tesis y/o trabajo de grado Titulado IDENTIFICACIÓN Y SELECCIÓN DE UNA O MÁS FORMULAS EMPIRICAS DE EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL PARA EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, presentado y aprobado en el año 2015 como requisito para optar al título de INGENIERO AGRÍCOLA, autorizo al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales "open access" y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

	GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS				  		
	CARTA DE AUTORIZACIÓN						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-06	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	2 de 2

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, "Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores", los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma:  _____

	GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS				  		
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	1 de 3

TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO: IDENTIFICACIÓN Y SELECCIÓN DE UNA O MÁS FORMULAS EMPIRICAS DE EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL PARA EL DEPARTAMENTO DEL HUILA.

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
----------------------------	--------------------------

GIRALDO SILVA

VICTOR ALFONSO

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
----------------------------	--------------------------

VALENZUELA MAHECHA

MIGUEL ANGEL

VANEGAS BERNAL

JAIME

ASESOR (ES):

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
----------------------------	--------------------------

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: INGENIERO AGRICOLA

FACULTAD: INGENIERIA

PROGRAMA O POSGRADO: AGRICOLA

CIUDAD: NEIVA

AÑO DE PRESENTACIÓN: 2015

NÚMERO DE PÁGINAS: 126

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):

Diagramas___ Fotografías X Grabaciones en discos___ Ilustraciones en general X Grabados___
 Láminas___ Litografías___ Mapas X Música impresa___ Planos___ Retratos___ Sin ilustraciones___ Tablas
 o Cuadros X

SOFTWARE requerido y/o especializado para la lectura del documento: ADOBE READER (pdf)

MATERIAL ANEXO: Mapa de zonificación climatológica y localización geográfica de estaciones climatológicas utilizadas en Departamento del Huila.

PREMIO O DISTINCIÓN (*En caso de ser LAUREADAS o Meritoria*):

PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

<u>Español</u>	<u>Inglés</u>
1. Evapotranspiración	Evapotranspiration
2. Evaporación	Evaporation
3. Formulas Evapotranspiración	Evapotranspiration Formulas

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

Ante la gran incertidumbre por saber cuál formula empírica de evapotranspiración potencial es la más acertada para el departamento del Huila y teniendo en cuenta que estas fórmulas se han generado en condiciones climatológicas y agroecológicas diferentes, se llevó a cabo la identificación y selección de la fórmula de evapotranspiración con mayor ajuste respecto a la evaporación del tanque clase A. La selección se llevó a cabo entre cinco (5) formulas empíricas de evapotranspiración potencia de común uso en Colombia (Blanney y Criddle (1950) ,Hargreaves (1975), Thornthwaite (1948), Christiansen (1966) y Penman-Monteith (1949), evaluando veintidós (22) estaciones climatológicas mediante el índice porcentual y el coeficiente de determinación (R²). Se tomaron los registros del IDEAM y la zonificación climática del Departamento del Huila del IGAC. Se concluye que para la zona de climas cálido, transicional de cálido seco a muy seco (altitudes < 1000 msnm y temperaturas > 25°C) la fórmula de Penman-Monteith muestra el mayor ajuste a la estimación real, en la zona de climas medios y húmedos (altitudes entre 1000 y 2000 msnm y temperaturas entre 18 y 24°C) al igual que en la zona de climas húmedos, transicional a frío húmedo (altitudes 1500 y 2000 msnm y temperaturas entre 14 y 20°C) la fórmula de Thornwaite evidencia el mayor ajuste.

ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

The most utilized evapotranspiration empirical formulas have been generated in different climatic and ecological conditions than the ones we have in the department of Huila. Given Huila's specific climatic and ecological conditions, was carry out an analysis using five (5) empirical formulas of potential evapotranspiration commonly used in Colombia to identify which one would be the best fit. The formulas used in this study were: Blanney and Criddle (1950); Hargreaves (1975);



Thornthwaite (1948); Christiansen (1966); and, FAO-Penman Monteith (1949), evaluating twenty two (22) weather stations throughout the area of the Department of Huila. The data considered from each station was as follows: the Pan Evaporation, the coefficient (R^2) Evaporation, climatological records from the IDEAM, and also the Department's climatic zoning data collected by the IGAC. The study shows that the FAO Penman-Monteith formula is more effective for the transitional to warm dry, and very dry climatic zones (altitudes < 1000 meters above the sea level, and temperatures > 25° C); also that the Thornthwaite formula is more suitable for middle and humid climatic zones (altitudes between 1000 to 2000 meters, and temperatures between 18 to 24° C), as well for transitional damp cold, medium and humid climatic zones (1500 and 2000 m. altitudes, and temperatures 14 and 20° C).

APROBACION DE LA TESIS

Nombre Jurado: ARMANDO TORRENTE TRUJILLO

Firma:

Nombre Jurado: JONATHAN ROMERO CUELLAR

Firma:

**IDENTIFICACIÓN Y SELECCIÓN DE UNA O MAS FÓRMULAS EMPÍRICAS DE
EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL PARA EL DEPARTAMENTO DEL
HUILA**

PRESENTADO POR:

VICTOR ALFONSO GIRALDO SILVA

DIRECTOR:

**MIGUEL ANGEL VALENZUELA MAHECHA
ING. AGR. MAGÍSTER EN INGENIERÍA – RECURSOS HIDRÁULICOS**

CODIRECTOR:

**JAIME VANEGAS BERNAL
ING. AGRO. MAGISTER EN INGENIERIA DE RIEGO Y DRENAJE**

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA AGRICOLA
NEIVA
2015**

**IDENTIFICACIÓN Y SELECCIÓN DE UNA O MAS FÓRMULAS EMPÍRICAS DE
EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL PARA EL DEPARTAMENTO DEL
HUILA**

Requisito como tesis de grado para optar el título de Ingeniero Agrícola

PRESENTADO POR:

VICTOR ALFONSO GIRALDO SILVA

DIRECTOR:

**MIGUEL ANGEL VALENZUELA MAHECHA
ING. AGR. MAGÍSTER EN INGENIERÍA – RECURSOS HIDRÁULICOS**

CODIRECTOR:

**JAIME VANEGAS BERNAL
ING. AGRO. MAGISTER EN INGENIERIA DE RIEGO Y DRENAJE**

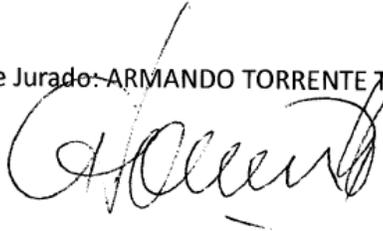
**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA AGRICOLA
NEIVA
2015**

Nota de aceptación:

TESIS APROBADA

Nombre Jurado: ARMANDO TORRENTE TRÚJILLO

Firma:



M.Sc EN MANEJO DE SUELOS Y AGUAS
DR. CIENCIAS AGROPECUARIAS
JURADO

Nombre Jurado: JONATHAN ROMERO CUELLAR

Firma:



ING. AGRICOLA
M.Sc EN HIDROSISTEMAS
JURADO



MIGUEL ANGEL VALENZUELA MAHECHA
ING. AGRICOLA
M. Sc EN RECURSOS HIDRAULICOS
DIRECTOR

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a Dios, a mi familia en especial a mis padres que me apoyaron incondicionalmente, a mis profesores, amigos y compañeros de trabajo, quienes sin su ayuda no habría sido posible este logro.

AGRADECIMIENTO

Agradezco de manera especial a mi director Miguel Angel Valenzuela Mahecha, por su colaboración y su apoyo.

A la Secretaría de Agricultura y Minería Departamental por toda su colaboración, en especial a los Ingenieros Jaime Vanegas Bernal, Jhon Garay Suaza, Yina Paola Perdomo Álvarez y Nelson Arias Villarreal quienes aportaron su conocimiento a este proyecto.

RESUMEN

Ante la gran incertidumbre por saber cuál fórmula empírica de evapotranspiración potencial es la más acertada para el departamento del Huila y teniendo en cuenta que estas fórmulas se han generado en condiciones climatológicas y agroecológicas diferentes, se llevó a cabo la identificación y selección de la fórmula de evapotranspiración con mayor ajuste respecto a la evaporación del tanque clase A. La selección se llevó a cabo entre cinco (5) fórmulas empíricas de evapotranspiración potencia de común uso en Colombia (Blanney y Criddle (1950), Hargreaves (1975), Thornthwaite (1948), Christiansen (1966) y Penman-Monteith (1949), evaluando veintidós (22) estaciones climatológicas mediante el índice porcentual y el coeficiente de determinación (R^2). Se tomaron los registros del IDEAM y la zonificación climática del Departamento del Huila del IGAC. Se concluye que para la zona de climas cálido, transicional de cálido seco a muy seco (altitudes < 1000 msnm y temperaturas > 25°C) la fórmula de Penman-Monteith muestra el mayor ajuste a la estimación real, en la zona de climas medios y húmedos (altitudes entre 1000 y 2000 msnm y temperaturas entre 18 y 24°C) al igual que en la zona de climas húmedos, transicional a frío húmedo (altitudes 1500 y 2000 msnm y temperaturas entre 14 y 20°C) la fórmula de Thornthwaite evidencia el mayor ajuste.

Palabras Clave: Evapotranspiración, evaporación, Formulas evapotranspiración.

SUMMARY

The most utilized evapotranspiration empirical formulas have been generated in different climatic and ecological conditions than the ones we have in the department of Huila. Given Huila's specific climatic and ecological conditions, was carry out an analysis using five (5) empirical formulas of potential evapotranspiration commonly used in Colombia to identify which one would be the best fit. The formulas used in this study were: Blanney and Criddle (1950); Hargreaves (1975); Thornthwaite (1948); Christiansen (1966); and, FAO-Penman Monteith (1949), evaluating twenty two (22) weather stations throughout the area of the Department of Huila. The data considered from each station was as follows: the Pan Evaporation, the coefficient (R^2) Evaporation, climatological records from the IDEAM, and also the Department's climatic zoning data collected by the IGAC. The study shows that the FAO Penman-Monteith formula is more effective for the transitional to warm dry, and very dry climatic zones (altitudes < 1000 meters above the sea level, and temperatures > 25°C); also that the Thornthwaite formula is more suitable for middle and humid climatic zones (altitudes between 1000 to 2000 meters, and temperatures between 18 to 24°C), as well for transitional damp cold, medium and humid climatic zones (1500 and 2000 m. altitudes, and temperatures 14 and 20°C).

Key words: Evapotranspiration, Evaporation, Evapotranspiration formulas.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCION-----	12
2. OBJETIVOS -----	13
2.1. Objetivo General-----	13
2.2. Objetivos Específicos-----	13
3. MARCO CONCEPTUAL-----	13
3.1. EVAPOTRANSPIRACION -----	13
3.2. EVAPORACION -----	15
3.3. MEDIDA Y CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN -----	16
3.3.1. Medida del poder evaporante de la atmósfera -----	16
3.3.2. Medida de la evapotranspiración -----	17
4. ESTADO DEL ARTE -----	18
5. METODOLOGIA-----	22
5.1. INVESTIGACIONES EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA-----	22
5.2. DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO -----	22
5.3. INFORMACIÓN CLIMATOLÓGICA-----	25
5.4. MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN -----	26
5.4.1. Formula H.F. Blaney and W.D. Criddle (1950) -----	26
5.4.2. Formula de Hargreaves (1975) -----	27
5.4.3. Formula de thornthwaite (1948)-----	27
5.4.4. Formula de Christiansen (1966) -----	28
5.4.5. Formula FAO Penman-Monteith (1949)-----	30
5.5. CRITERIOS PARA SELECCIONAR LA MEJOR ECUACIÓN DE ETP -----	31
5.5.1. Índice Porcentual -----	31
5.5.2. Coeficiente de determinación(R^2) -----	32
6. RESULTADOS-----	34
6.1. ZONIFICACIÓN CLIMÁTICA PARA DETERMINAR LA MEJOR ECUACION DE EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL-----	34

6.2. ESTIMACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL POR LOS 5 MÉTODOS SELECCIONADOS PARA CADA UNA DE LAS ZONAS CLIMÁTICA DEL DEPARTAMENTO -----	37
6.2.1. Zona A. (Climas cálidos, transicionales a cálido seco y muy seco) -----	37
6.2.1.1. Resultados estación san Alfonso – Villavieja -----	37
6.2.1.2. Resultados estación La Boca – Villavieja -----	39
6.2.1.3. Resultados estación San José - Villavieja -----	41
6.2.1.4. Resultados Estación San Rafael - Teruel-----	43
6.2.1.5. Resultados estación El Juncal - Palermo -----	45
6.2.1.6. Resultados estación Iquira - Iquira -----	47
6.2.1.7. Resultados estación Hidrobetania - Campoalegre -----	49
6.2.1.8. Resultados estación Los Rosales - Campoalegre -----	51
6.2.1.9. Resultados estación Hda La Manilla - Baraya -----	53
6.2.1.10. Resultados estación Apto Benito Salas - Neiva -----	55
6.2.2. Zona B (Climas medios y húmedos) -----	57
6.2.2.1. Resultados estación Santa María – Santa María -----	57
6.2.2.2. Resultados estación Sevilla - Pitalito -----	59
6.2.2.3. Resultados Estación Esc Agr La Plata - La Plata-----	61
6.2.2.4. Resultados estación Terpeya - Colombia-----	63
6.2.2.5. Resultados estación Resina - Guadalupe -----	65
6.2.2.6. Resultados estación Zuluaga - Garzón-----	67
6.2.2.7. Resultados estación La Legiosa - Colombia -----	69
6.2.2.8. Resultados estación El Grifo Altamira - Altamira-----	71
6.2.2.9. Resultados Estación Algeciras - Algeciras -----	73
6.2.2.10. Resultados estación Cueva Los Guacharos- Acevedo-----	75
6.2.2.11. Resultados estación Palacio-Vegalarga - Neiva -----	77
6.2.3. Zona climática C (climas medios y húmedos, traicionales a frio húmedo)-----	79
6.2.3.1. Resultados estación Parque Arqueológico - San Agustín -----	79
7. ANALISIS DE RESULTADOS-----	81
7.1. ZONA A (CLIMAS CÁLIDOS, TRANSICIONALES A CÁLIDO SECO Y MUY SECO) -----	81
7.2. ZONA B (CLIMAS MEDIOS Y HÚMEDOS)-----	82
7.3. ZONA C (CLIMAS MEDIOS Y HÚMEDOS, TRASICIONALES A FRIO HÚMEDO)84	
7.4. COMPARACIÓN EN MÓDULOS DE RIEGO Y CAUDALES DE DISEÑO UTILIZANDO LA ECUACIÓN DE EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL SELECCIONADA.-----	85
8. CONCLUSIONES -----	87

9. RECOMENDACIONES -----	88
10. BIBLIOGRAFÍA -----	89
ANEXOS -----	91

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Resultados de los estudios comparativos (Fuente: FAO, 2006)	19
Tabla 2. Zonificación climática y sus variables (Fuente: IGAC, 1994).	24
Tabla 3. Zonificación climática del departamento del Huila para la Evapotranspiración Potencial.....	24
Tabla 4. Estaciones del IDEAM seleccionadas.	25
Tabla 5. Factores de corrección K_i para la fórmula de thornthwaite.	28
Tabla 6. Rangos para interpretar el índice porcentual.	32
Tabla 7. Rangos de interpretación para el coeficiente de determinación R^2 (Sagarón, N. & Macías, M. 2005).	33
Tabla 8. Zonificación climática para la evapotranspiración potencial.	34
Tabla 9. Estaciones climatológicas por zona climática en el departamento del Huila.	36
Tabla 10. Resultados de la evapotranspiración potencial estación San Alfonso.	37
Tabla 11. Cálculo del índice porcentual estación San Alfonso.	38
Tabla 12. Cálculo del coeficiente de determinación R^2 estación San Alfonso.	38
Tabla 13. Cálculo de evapotranspiración potencial estación La Boca.	39
Tabla 14. Cálculo del índice porcentual estación La Boca.	40
Tabla 15. Cálculo del coeficiente de determinación R^2 estación La Boca.	40
Tabla 16. Cálculo de evapotranspiración potencial estación San José.	41
Tabla 17. Cálculo del índice porcentual estación San José.	42
Tabla 18. Cálculo del coeficiente de determinación R^2 estación San José.	42
Tabla 19. Cálculo de evapotranspiración potencial estación San Rafael.	43
Tabla 20. Cálculo del índice porcentual estación San Rafael.	44
Tabla 21. Cálculo del coeficiente de determinación R^2 estación San Rafael.	44
Tabla 22. Cálculo de evapotranspiración potencial estación El Juncal.	45
Tabla 23. Cálculo del índice porcentual estación El Juncal.	46
Tabla 24. Cálculo del coeficiente de determinación R^2 estación El Juncal.	46
Tabla 25. Cálculo de evapotranspiración potencial estación Iquira.	47
Tabla 26. Cálculo del índice porcentual estación Iquira.	48
Tabla 27. Cálculo del coeficiente de determinación R^2 estación Iquira.	48
Tabla 28. Cálculo de evapotranspiración potencial estación Hidrobetania.	49
Tabla 29. Cálculo del índice porcentual estación Hidrobetania.	50
Tabla 30. Cálculo del coeficiente de determinación R^2 estación Hidrobetania.	50
Tabla 31. Cálculo de evapotranspiración potencial estación Los Rosales.	51
Tabla 32. Cálculo del índice porcentual estación Los Rosales.	52
Tabla 33. Cálculo del coeficiente de determinación R^2 estación Los Rosales.	52

Tabla 34. Calculo de evapotranspiración potencia estación Hda la Manilla.	53
Tabla 35. Cálculo del índice porcentual estación Hda la Manilla.	54
Tabla 36. Calculo del coeficiente de determinación R ² Hda la Manilla.	54
Tabla 37. Calculo de evapotranspiración potencial estación Apto Benito Salas.	55
Tabla 38. Cálculo del índice porcentual estación Apto Benito Salas.	56
Tabla 39. Cálculo del coeficiente de determinación R ² estación Apto Benito Salas.	56
Tabla 40. Calculo de evapotranspiración potencial estación Santa María.	57
Tabla 41. Cálculo del índice porcentual estación Santa María.	58
Tabla 42. Calculo del coeficiente de determinación R ² estación Santa maría.	58
Tabla 43. Calculo de evapotranspiración potencial estación Sevilla.	59
Tabla 44. Cálculo del índice porcentual Estación Sevilla.	60
Tabla 45. Calculo del coeficiente de determinación R ² estación Sevilla.	60
Tabla 46. Calculo de evapotranspiración potencial estación Esc Agr La Plata.	61
Tabla 47. Cálculo del índice porcentual estación Esc Agr La Plata.	62
Tabla 48. Calculo del coeficiente de determinación R ² estación Esc Agr La Plata.	62
Tabla 49. Calculo de evapotranspiración potencial Estación Terpeya.	63
Tabla 50. Cálculo del índice porcentual estación Terpeya.	64
Tabla 51. Calculo del coeficiente de determinación R ² Estación Terpeya.	64
Tabla 52. Calculo de evapotranspiración potencial estación Resina.	65
Tabla 53. Cálculo del índice porcentual estación Resina.	66
Tabla 54. Calculo del coeficiente de determinación R ² estación Resina.	66
Tabla 55. Calculo de evapotranspiración potencial estación Zuluaga.	67
Tabla 56. Cálculo del índice porcentual estación Zuluaga.	68
Tabla 57. Calculo del coeficiente de determinación R ² estación Zuluaga.	68
Tabla 58. Calculo de evapotranspiración potencial estación La Legiosa.	69
Tabla 59. Cálculo del índice porcentual estación La Legiosa.	70
Tabla 60. Calculo del coeficiente de determinación R ² estación La Legiosa.	70
Tabla 61. Calculo de evapotranspiración potencial estación El Grifo Altamira.	71
Tabla 62. Cálculo del índice porcentual estación El Grifo Altamira.	72
Tabla 63. Calculo del coeficiente de determinación R ² estación El Grifo Altamira.	72
Tabla 64. Calculo de evapotranspiración potencial estación Algeciras.	73
Tabla 65. Cálculo del índice porcentual Estación Algeciras.	74
Tabla 66. Calculo del coeficiente de determinación R ² estación Algeciras.	74
Tabla 67. Calculo de evapotranspiración potencial estación Cueva Los Guacharos.	75
Tabla 68. Cálculo del índice porcentual estación Cueva Los Guacharos.	76
Tabla 69. Calculo del coeficiente de determinación R ² Estación Cueva los Guacharos. ..	76
Tabla 70. Calculo de evapotranspiración potencial estación Palacio-Vegalarga.	77
Tabla 71. Cálculo del índice porcentual estación Palacio-Vegalarga.	78
Tabla 72. Calculo del coeficiente de determinación R ² estación Palacio-Vegalarga.	78
Tabla 73. Calculo de evapotranspiración potencial estación Parque Arqueológico.	79
Tabla 74. Cálculo del índice porcentual estación Parque Arqueológico.	80
Tabla 75. Calculo del coeficiente de determinación R ² estación Parque Arqueológico.	80
Tabla 76. Formulas empíricas que obtuvieron el menor índice porcentual para la zona A.	81

Tabla 77. Formulas empíricas que obtuvieron el mayor coeficiente de determinación (R2) para la zona climática A.....	82
Tabla 78. Formulas empíricas Que obtuvieron el menor índice porcentual para la zona B.	83
Tabla 79. Formulas empíricas que obtuvieron el mayor coeficiente de determinación (R2) para la zona climática B.....	83
Tabla 80. Formulas empíricas Que obtuvieron el menor índice porcentual para la zona C.	84
Tabla 81. Formulas empíricas que obtuvieron el mayor coeficiente de correlación (R2) para la zona climática C.....	84
Tabla 82. Resumen demanda de agua distrito de riego de mediana escala San Antonio Bajo-Ventanas	85
Tabla 83. Resumen demanda de agua distrito de riego de mediana escala San Antonio Bajo-Ventana utilizando la mejor fórmula de evapotranspiración potencial para la zona.	86
Tabla 84. Diferencias al utilizar la mejor fórmula de ETP en el distrito de riego San Antonio Bajo-Ventanas.	86

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Repartición de la evapotranspiración en evaporación y transpiración durante el periodo de crecimiento de un cultivo anual. (Fuente: FAO, 2006)	14
Figura 2. Factores que afectan la evapotranspiración (Fuente: FAO, 2006)	15
Figura 3. Equipo básico para la medir evaporación (Fuente: Sánchez J, 2010)	16
Figura 4. Equipo para medir Evapotranspiración. Lisímetro (Fuente: Sánchez J, 2010)	17
Figura 5. Zonificación Climática del departamento del Huila (Fuente: IGAC, 1994)	23
Figura 6. Zonificación climática para la evapotranspiración en el departamento del Huila y la georeferenciación de las estaciones seleccionadas	35
Figura 7. Evapotranspiración potencial calculada estación San Alfonso.	37
Figura 8. Evapotranspiración potencial calculada estación La Boca.	39
Figura 9. Evapotranspiración potencial calculada estación San José.	41
Figura 10. Evapotranspiración potencial estación San Rafael	43
Figura 11. Evapotranspiración potencial estación El Juncal	45
Figura 12. Grafica de la evapotranspiración potencial Estación Iquirá	47
Figura 13. Grafica de la evapotranspiración potencial estación Hidrobetania	49
Figura 14. Grafica de la evapotranspiración potencial estación Los Rosales	51
Figura 15. Grafica de la evapotranspiración potencial estación Hda la Manilla.	53
Figura 16. Grafica de la evapotranspiración potencial estación Apto Benito Salas	55
Figura 17. Evapotranspiración potencial estación Santa María	57
Figura 18. Evapotranspiración potencial estación Sevilla	59
Figura 19. Evapotranspiración potencial estación Esc Agr La Plata	61
Figura 20. Grafica de la evapotranspiración potencial estación Terpeya	63
Figura 21. Grafica de la evapotranspiración potencial estación Resina	65
Figura 22. Grafica de la evapotranspiración potencial estación Zuluaga	67
Figura 23. Grafica de la evapotranspiración potencial estación La Legiosa	69
Figura 24. Grafica de la evapotranspiración potencial estación El Grifo Altamira	71
Figura 25. Grafica de la evapotranspiración potencial estación Algeciras	73
Figura 26. Grafica de la evapotranspiración potencial estación Cueva Los Guacharos	75
Figura 27. Grafica de la evapotranspiración potencial estación Palacio-Vegalarga	77
Figura 28. Evapotranspiración potencial estación Parque Arqueológico	79

1. INTRODUCCION

Es bien sabido que los módulos de riego utilizados en el diseño de las obras de adecuación de tierras se determinan en muchos casos con el uso de fórmulas empíricas de evapotranspiración potencial elegidas según el concepto del diseñador o la entidad que proyecta el distrito de riego, esto se hace por cuanto no existe en la mayoría de los casos información o investigaciones sobre las demandas de agua por un método directo o de campo, por esta razón es común que el sobredimensionamiento en las obras de adecuación de tierras y los pagos elevados a las corporaciones ambientales por causa de altos caudales solicitados para la concesión y que realmente no son los requeridos por los usuarios sean un problema que inician con el cálculo deficiente de los requerimiento de agua de los cultivos propuestos.

Las mediciones directas de evapotranspiración potencial son laboriosas y requieren mucho tiempo y dinero, ya que solo se pueden realizar en centros de investigaciones que permitan controlar la gran cantidad de variables que influye en este proceso, por este motivo el uso de las formulas empíricas de evapotranspiración potencial se vuelven una necesidad. No puede decirse que una u otra fórmula de evapotranspiración es o son las mejores para definir las reales demandas de agua mientras no sean comparado con los resultados obtenidos por métodos directos o de campo realizado en el lugar de interés, por esta razón en la presente investigación se identifica y selecciona la fórmula de evapotranspiración potencial de mayor ajuste respecto a la evapotranspiración potencial basada en la evaporación del tanque clase A, la cual está muy aproximada a la evapotranspiración real.

La información climatológica fue tomada de los registros del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, en primera medida se realizó una selección de las estaciones climatológicas con jurisdicción en el Departamento del Huila que posean mediciones directas de evaporación, seguida de una zonificación climática, posteriormente se seleccionaron cinco (5) fórmulas de gran uso en nuestro país y se evaluaron mediante el índice porcentual y el coeficiente de determinación (R^2), finalmente identificando y seleccionando la metodología de mayor ajuste en las diferentes zonas del departamento del Huila, se recomienda una fórmula empírica de evapotranspiración que pueda evitar el sobredimensionamiento en las obras de infraestructura de riego, logrando ahorrar inversiones innecesarias y mejorar la productividad de los cultivos a implantar.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

- Identificar y seleccionar una o más fórmulas empíricas de evapotranspiración potencial que permitan definir con mayor exactitud los requerimientos de agua en el departamento del Huila, con fines de diseño de obras de adecuación de tierras.

2.2. Objetivos Específicos

- Comparar las ecuaciones empíricas versus las mediciones directas utilizando los instrumentos de índice porcentual y coeficiente de Determinación (R^2).
- Determinar mediante mapificación climatológica el mejor comportamiento de las formula empírica de evapotranspiración potencial en el departamento del Huila.
- Cuantificar las posibles diferencias encontradas al determinar el módulo de riego y caudal de diseño usando la mejor fórmula empíricas de evapotranspiración potencial tomando como caso de estudio un diseño de un distrito de riego elaborado en el departamento del Huila.

3. MARCO CONCEPTUAL

3.1. EVAPOTRANSPIRACION

La evapotranspiración es la combinación de dos procesos por los que el agua se pierde, uno eminentemente físico como es la evaporación directa y por otra parte un proceso bilógico-físico realizado por el cultivo que es la transpiración. “La evapotranspiración es un antecedente fundamental en la determinación de la tasa de riego, la planificación del riego, estructuras de riego, distribución de agua, etc.” (Tosso. 1976).

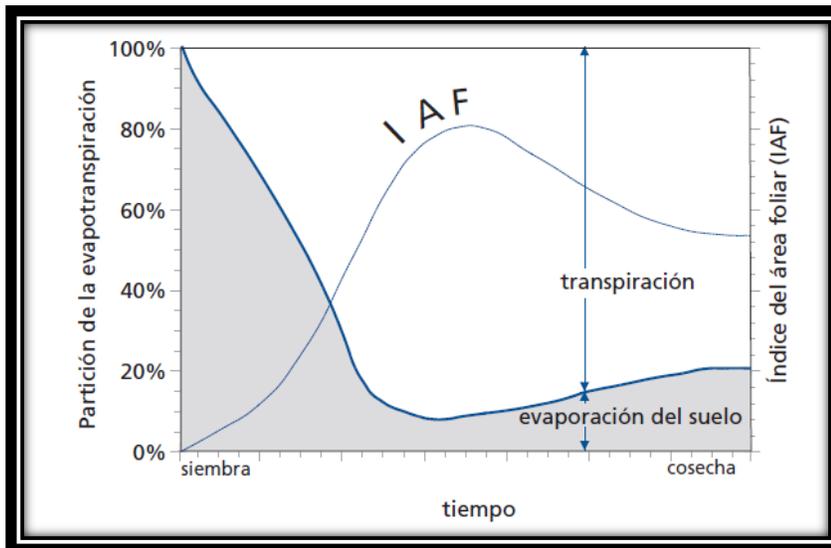


Figura 1. Repartición de la evapotranspiración en evaporación y transpiración durante el periodo de crecimiento de un cultivo anual. (Fuente: FAO, 2006)

La evaporación y la transpiración ocurren simultáneamente y no hay una manera sencilla de distinguir entre estos dos procesos. Aparte de la disponibilidad de agua en los horizontes superficiales, la evaporación de un suelo cultivado es determinada principalmente por la fracción de radiación solar que llega a la superficie del suelo, esta fracción disminuye a lo largo del ciclo del cultivo a medida que el dosel del cultivo proyecta más y más sombra sobre el suelo. En las primeras etapas del cultivo, el agua se pierde principalmente por evaporación directa del suelo, pero con el desarrollo del cultivo y finalmente cuando este cubre totalmente el suelo, la transpiración se convierte en el proceso principal. En la Figura 1 se presenta la evapotranspiración dividida en sus dos componentes (evaporación y transpiración) en relación con el área foliar por unidad de superficie de suelo debajo de él. En el momento de la siembra, casi el 100% de la ET ocurre en forma de evaporación, mientras que cuando la cobertura vegetal es completa, más del 90% de la ET ocurre como transpiración (FAO. 2006). Los factores que afectan la evapotranspiración son: variables climáticas, factores del cultivo y manejo de condiciones ambientales.

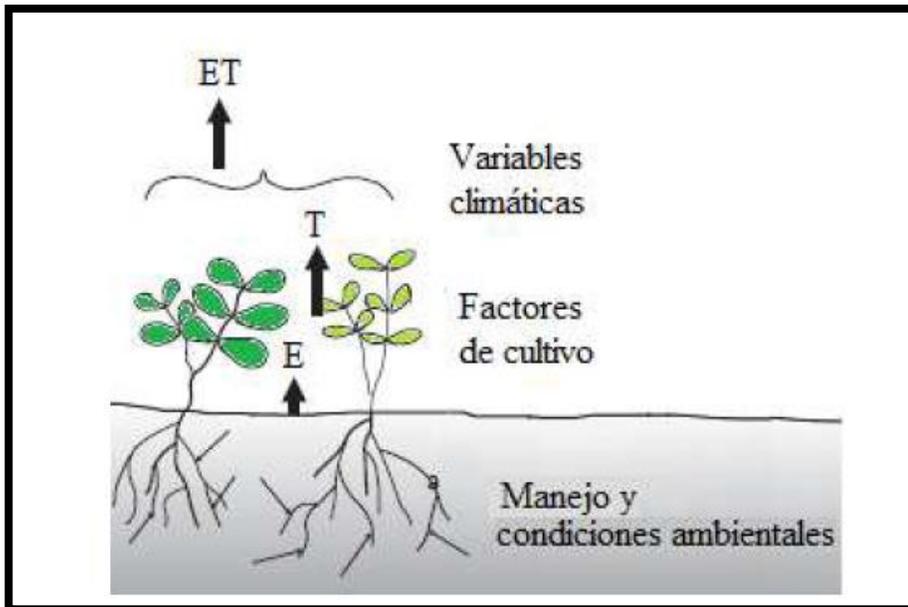


Figura 2. Factores que afectan la evapotranspiración (Fuente: FAO, 2006)

3.2. EVAPORACION

La evaporación es el proceso por el cual el agua líquida se convierte en vapor de agua (vaporización) y se retira de la superficie evaporante (remoción de vapor), el agua se evapora de una variedad de superficies, tales como lagos, ríos, caminos, suelos y la vegetación mojada. Para cambiar el estado de las moléculas del agua de líquido a vapor se requiere energía. La radiación solar directa y, en menor grado, la temperatura ambiente del aire, proporcionan esta energía. La fuerza impulsora para retirar el vapor de agua de una superficie evaporante es la diferencia entre la presión del vapor de agua en la superficie evaporante y la presión de vapor de agua de la atmósfera circundante. A medida que ocurre la evaporación, el aire circundante se satura gradualmente y el proceso se vuelve cada vez más lento hasta detenerse completamente si el aire mojado circundante no se transfiere a la atmósfera o en otras palabras no se retira de alrededor de la hoja. El reemplazo del aire saturado por un aire más seco depende grandemente de la velocidad del viento. Por lo tanto, la radiación, la temperatura del aire, la humedad atmosférica y la velocidad del viento son parámetros climatológicos a considerar al evaluar el proceso de la evaporación.

Cuando la superficie evaporante es la superficie del suelo, el grado de cobertura del suelo por parte del cultivo y la cantidad de agua disponibles en la superficie evaporante son otros factores que afectan el proceso de la evaporación. Lluvias

frecuentes, el riego y el ascenso capilar en un suelo con manto freático poco profundo, mantienen mojada la superficie del suelo. En zonas en las que el suelo es capaz de proveer agua con velocidad suficiente para satisfacer la demanda de la evaporación del suelo, este proceso está determinado solamente por las condiciones meteorológicas. Sin embargo, en casos en que el intervalo entre la lluvia y el riego es grande y la capacidad del suelo de conducir la humedad cerca de la superficie es reducida, el contenido en agua en los horizontes superiores disminuye y la superficie del suelo se seca. Bajo estas circunstancias, la disponibilidad limitada del agua ejerce un control sobre la evaporación del suelo. En ausencia de cualquier fuente de reabastecimiento de agua a la superficie del suelo, la evaporación disminuye rápidamente y puede cesar casi totalmente en un corto lapso de tiempo (FAO. 2006).

3.3. MEDIDA Y CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN

3.3.1. Medida del poder evaporante de la atmósfera

Al realizar medidas podemos asimilar la evaporación que se produce desde una lámina de agua libre al poder evaporante de la atmósfera. Así, el equipo básico de medida es el tanque de evaporación recipiente de tamaño estandarizado (Tanque “clase A” = 1,20 m. diámetro, 25 cm profundidad), con un tornillo micrométrico para medir el nivel del agua con precisión. Lógicamente, al lado siempre debe existir un pluviómetro para medir la precipitación y de esta manera tener el dato exacto de la evaporación.

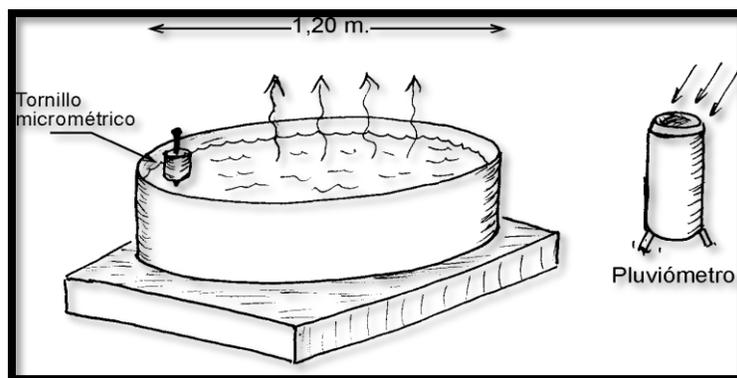


Figura 3. Equipo básico para la medir evaporación (Fuente: Sánchez J, 2010)

Las medidas de un tanque de evaporación se han relacionado con la ETP (Evapotranspiración potencial). Estableciendo una relación entre la evaporación en tanque (EV) y un coeficiente del tanque (K_p) derivado del mismo tanque.

$$ETP \left(\frac{mm}{dia} \right) = EV \left(\frac{mm}{dia} \right) \times K_p \quad \text{Ecuación 1}$$

Para seleccionar el coeficiente apropiado para un tanque evaporímetro, se debe considerar la cobertura del suelo donde se ubica el tanque, sus alrededores así como el viento y las condiciones generales de humedad. Este coeficiente del tanque varía mucho, pero generalmente oscila entre 0,6 y 0,85 (FAO, 2006)

3.3.2. Medida de la evapotranspiración

La evapotranspiración se mide mediante lisímetros. Consiste en un recipiente enterrado y cerrado lateralmente, de modo que el agua drenada por gravedad (la que se hubiera infiltrado hasta el acuífero) es recogida por un drenaje. En su construcción hay que ser muy cuidadoso de restituir el suelo que se excavó en unas condiciones lo más similares posible a las que se encontraba. Próximo a él debe existir un pluviómetro.

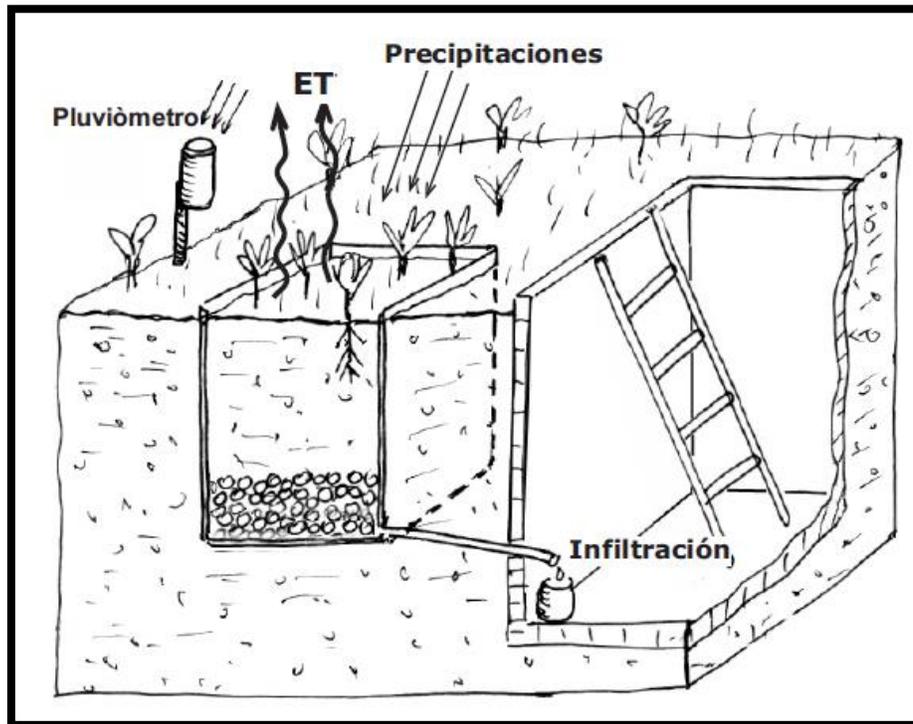


Figura 4. Equipo para medir Evapotranspiración. Lisímetro (Fuente: Sánchez J, 2010)

Se despeja ETR de la siguiente ecuación que expresa el balance hídrico en el lisímetro:

$$Precipitaciones = ETR + Infiltración + \Delta Almacenamiento \quad \text{Ecuación 2}$$

Hay que tener en cuenta que se construye con unos bordes que impiden la escorrentía superficial, la única medida compleja es el Δ almacenamiento, normalmente se mide la humedad del suelo y a partir de ahí se calcula para convertir esa humedad en una lámina de agua equivalente expresada en milímetros. Si queremos medir la ETP, es más simple. Mediante riego, debemos mantener el suelo en condiciones óptimas de humedad, y el cálculo ahora sería despejando ETP en esta expresión:

$$\text{Precipitaciones} + \text{riego} = \text{ETP} + \text{Infiltracion} \quad \text{Ecuación 3}$$

Ya no hay Δ almacenamiento, puesto que dicho almacenamiento está siempre completo. Un lisímetro es difícilmente representativo de toda la región. En ocasiones se establece el balance hídrico en una parcela experimental, en la que se miden precipitaciones, escorrentía superficial, variaciones de la humedad en el suelo, etc. para despejar finalmente la evapotranspiración. Sería un procedimiento más exacto, pero más costoso y complicado. (Sánchez J. 2010)

4. ESTADO DEL ARTE

Existen muchos estudios acerca de la evapotranspiración alrededor del mundo, los cuales sirven de referencia para nuevos investigadores de países en desarrollo que cuenta con pocos estudios de requerimientos hídricos confiables por las escasas investigaciones de evapotranspiración directa o en campo. Sin embargo existen investigaciones con muy buenas bases y metodologías como las presentadas a continuación.

Uno estudio importante lo presenta el libro de la FAO (2006) “Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos”, en el cual se emprendió una importante investigación bajo auspicio del Comité de Requerimientos de Agua para Riego de la Sociedad Estadounidense de Ingenieros Civiles (ASCE por sus siglas en ingles). El estudio de ASCE analizaba el comportamiento de 20 diversos métodos, usando procedimientos detallados para determinar la validez de los resultados de estos métodos comparados con una base de datos cuidadosamente obtenida de lisímetros en 11 localidades, bajo condiciones climáticas variables. El estudio probó y demostró claramente la amplia variabilidad de resultados de los métodos aplicados bajo diversas condiciones climáticas, dando como resultado los siguientes:

Tabla 1. Resultados de los estudios comparativos (Fuente: FAO, 2006)

N°	RESULTADO
1	Los métodos basados en la ecuación de Penman podrían requerir una calibración local de la función del viento para obtener resultados satisfactorios.
2	Los métodos de la radiación demostraron buenos resultados en climas húmedos donde el término aerodinámico es relativamente pequeño, pero su funcionamiento en condiciones áridas fue errático y con tendencia a subestimar la evapotranspiración.
3	Los métodos basados en la temperatura del aire al ser empíricos, requieren cuidadosas calibraciones locales para alcanzar resultados satisfactorios. Una excepción posible es el método de Hargreaves (1985) que ha producido resultados razonables de ETP con cierta validez global.
4	Los métodos basados en la evaporación del tanque reflejan las limitaciones de estimar la evapotranspiración del cultivo basándose en datos de evaporación libre del agua. Estos métodos son susceptibles a las condiciones microclimáticas bajo las cuales los tanques están funcionando y al rigor de mantenimiento de la estación. Muchas veces su funcionamiento se ha presentado errático.
5	La fórmula de Penman-Monteith ha sido reportada (ASCE) como aquella que produce resultados relativamente exactos y consistentes tanto en climas áridos como en húmedos.

Para la FAO (2006) El análisis del funcionamiento y la dispersión de resultados obtenidos por varios métodos de cálculo revelan la necesidad de formular un único método estándar para el cómputo de la evapotranspiración potencial. Dado el mejor comportamiento y consistencia del método FAO Penman-Monteith en el ámbito global, este es el único que se recomienda como método estándar de cálculo. Esto se debe a que existe una elevada probabilidad de que este método prediga correctamente los valores de evapotranspiración potencial en una amplia gama geográfica y climática y cuenta con previsiones para su uso en situaciones de falta de datos.

A nivel de Latinoamérica existen estudios como el realizado en Chile denominado “Comparación de ecuaciones empíricas para el cálculo de la evapotranspiración de referencia en la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins”, Sánchez, M y Carvacho, B. (2011), quienes compararon seis ecuaciones empíricas de común uso en Chile como lo son el Método de Ivanov, Método de Hargreaves, Método de Turc, Método de Jensen-Haise, método de Penman y el método de Priestley-Taylor. Estas metodologías requieren distintos datos meteorológicos para el cálculo de la evapotranspiración de referencia y se aplicaron en estaciones meteorológicas del área de estudio para el periodo 1998-2006. Los resultados en general indican un buen grado de ajuste entre los diferentes modelos, aunque la metodología de Ivanov se aleja de los demás en todas las observaciones situados en la costa con influencia oceánica.

En Colombia el INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES - HIMAT (1985) realizo el “Estudio comparativo de fórmulas de evapotranspiración potencial en Colombia” llevando a cabo una comparación de las siguientes ecuaciones empíricas de evapotranspiración potencial:

- H.F Blaney y W.D Criddle (1950)
- J.E. Christiansen (1966)
- J.B. Garcia y J.D. Lopez (1970)
- G. Hargreave (1975)
- H.L. Penman (1949)
- C.W. Thornthwaite (1948)
- L. Turc (1954)

Estas siete (7) formulas empíricas de evapotranspiración fueron desarrolladas con datos climatológicos que abarcaron gran parte del territorio nacional, por lo cual es considerado como un estudio representativo del país. La base para elegir la fórmula más ajustada para cada estación seleccionada fue la de comparar los datos de la evaporación directa con las estimaciones de la evapotranspiración potencial por cada metodología, para lo cual se tuvo en cuenta el índice estacional, el coeficiente de determinación y la relación porcentual. Se llegó a la conclusión de que las fórmulas de Christiansen y Penman en cualquier orden resultaron ser las más ajustadas para aplicar en ocho (8) de veinticuatro (24) estaciones seleccionadas, en tres (3) estaciones la fórmula con mayor ajuste fue la de Garcia-Lopez, la fórmula de Turc apareció como la fórmula con mayor ajuste en tres (3) de las (24) estaciones, las fórmulas de Christiansen y Hargreaves en cualquier orden son consideradas como las más ajustadas en seis (6) de las veinticuatro (24) estaciones y por último la fórmula de Thornthwaite y Blaney-Criddle fueron la formula con mayor ajuste en cuatro (4) de las veinticuatro (24) estaciones comprendidas en el estudio.

Entre otros estudios realizados en Colombia para la región del eje cafetero Jaramillo (2006) realizó una investigación muy interesante para Cenicafé denominada “evapotranspiración de referencia de la región andina de Colombia” en la cual se estimaron las variaciones temporal y altitudinal de la evapotranspiración de referencia por la ecuación de Penman-Monteith y la evaporación para la región del cultivo de café en Colombia. A partir de la información climática de la red meteorológica del Centro Nacional de Investigaciones de Café, se analizaron para las estaciones de Cenicafé y Naranjal (Caldas) las observaciones de evaporación de Tanque tipo A para el período 1975 a 1989. Se observó una relación exponencial entre la evapotranspiración de referencia (ET_o) y la altitud, y para estimar la evapotranspiración se propuso la

expresión empírica $E_{To} \text{ (mm/día)} = 4,37 \exp (-0,0002 * \text{Altitud, m})$, aplicable en estudios generales de zonificación climática de las cuencas de los ríos Cauca y Magdalena, localizadas en la región Andina de Colombia, para altitudes entre 170 y 3.700m. Así mismo, se registró una disminución de la evapotranspiración de referencia de 237mm/km de altitud por año, y los valores de evaporación de tanque fueron superiores en un 7,1% a los estimados con el método de Penman-Monteith.

Otra investigación interesante es la realizada por Marín V. (2010) para la Pontificia Universidad Javeriana “Evaluación de la relación entre la evapotranspiración potencial teórica y la evaporación registrada en los departamentos de Cundinamarca y Valle del Cauca” usando como herramienta el coeficiente de determinación (R^2), Marín V (2010) concluye que para el Departamento de Cundinamarca los métodos de Hargreaves y Christiansen fueron los que presentaron mayor ajustes en las estaciones de este departamento y las ecuaciones de Thornthwaite, Blaney y Criddle y Turc demostraron que su comportamiento en la región es bastante pobre. En el Departamento del Valle del Cauca al igual que en Departamento de Cundinamarca las fórmulas de Hargreaves y Christiansen fueron las que mejor ajuste Presentaron demostrando su potencial en la estimación mensual y anual de la evapotranspiración potencial cuando se dispone de los datos climatológicos necesarios, finalmente los métodos de Turc y Blaney y Criddle presentaron los resultados menos ajustados para la zona de estudio.

En el departamento del Huila se llevó a cabo un proyecto por Quimbaya F. (2011) para la Universidad Surcolombiana “Estimación de los requerimientos hídricos en el cultivo de maracuyá”, en el cual se seleccionó un área experimental de 0.25 hectáreas en el municipio de la Plata, se instala una estación automatizada y tensiómetros, posteriormente se realizaron las lecturas diarias de clima, humedad, tensión en el suelo y potencial hídrico en las hojas del maracuyá. Finalmente se evaluaron los balances hídricos para la estimación de la evapotranspiración real y el coeficiente empírico del cultivo.

Otro estudio desarrollado en el departamento del Huila realizado por Gasca C. y Trujillo O. (2007) “Estimación de las demandas hídricas en el cultivo del tabaco en el municipio de Campoalegre departamento del Huila” en el que se seleccionó una área experimental de 3.5 hectáreas en el Centro Agropecuario Angostura-SENA en el municipio de Campoalegre-Huila. En la cual se realizó la instalación de una estación básica para el balance hídrico y se colocaron tensiómetros a 10 y 20 centímetros de profundidad para el seguimiento de la humedad. Se llevaron a cabo lecturas diarias, se establecieron los balances hídricos, posteriormente se

estimó la evapotranspiración real la cual fue de 405,12 milímetros y finalmente se obtuvieron los coeficiente del cultivo K_c para cada fase obteniendo como resultado lo siguiente: crecimiento lento 0.66, crecimiento rápido 0.83, floración 0.92 y maduración con 0.87.

5. METODOLOGIA

5.1. INVESTIGACIONES EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA

Se solicitó a diferentes entidades como Corpoica, la Universidad Surcolombiana, Sena la Angostura, Fedecacao, Comité departamental de Cafeteros, entre otros, sobre investigaciones realizadas en el departamento del Huila concerniente a demandas de agua o evapotranspiración de los cultivos por métodos directos o en campo, para lo cual se obtuvo información de la Universidad Surcolombiana con dos investigaciones a las cuales no se pudo acceder a la información respectiva después de algunas solicitudes. Las demás entidades consultadas manifestaron no tener investigación sobre el tema requerido. Por esta razón se decidió tomar como base de la investigación los datos de la evaporación del tanque clase A registros por IDEAM.

5.2. DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Para alcanzar los propósitos del estudio, inicialmente se realizó una zonificación climática basada en el mapa del IGAC elaborado en 1994 (*Figura 5*) en donde se evidencian los climas existentes en el departamento del Huila que van desde el Clima cálido muy seco con altitud menor a 500 msnm, temperatura superior a 28°C y precipitación promedio anual menor a 700 mm, hasta el clima subnival y pluvial, con altitud mayor a 4200 msnm, temperatura menor a 4°C y precipitación promedio anual de 1000 a 2000 mm.

El mapa de zonificación climática se rige por tres variables altitud, temperatura y precipitación. Teniendo en cuenta estas variables el Departamento del Huila se divide en 15 climas los cuales se pueden observar en la tabla 2.

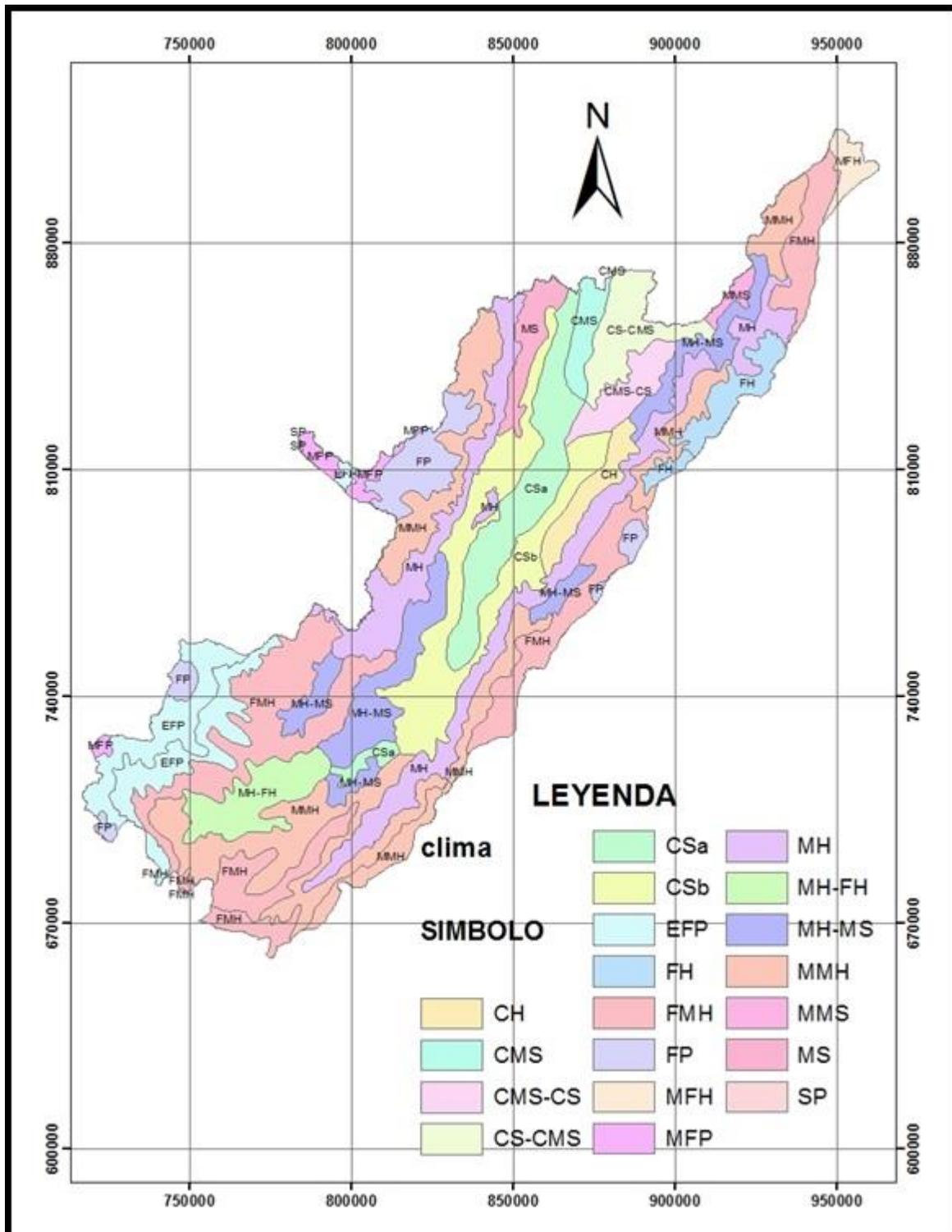


Figura 5. Zonificación Climática del departamento del Huila (Fuente: IGAC, 1994)

Tabla 2. Zonificación climática y sus variables (Fuente: IGAC, 1994).

N°	DESCRIPCION	SIMBOLO	ALTITUD (msnm)	TEMPERATURA MEDIA (°C)	PRECIPITACION (mm)
1	Clima calido muy seco	CMS	<500	>28	<700
2	Clima calido Muy seco,transicional a calido seco	CMS-CS	500 -1000	25 -27	700 - 1200
3	Clima calido seco	CSb	<1000	25 - 28	1000 -2000
4	Clima calido seco	Csa	<500	25 - 28	1000 - 2000
5	Clima calido seco, transicional a calido muy seco	CS-CMS	500 - 1000	24 - 28	800 - 1500
6	Clima calido y humedo	CH	500 - 1000	25 - 28	2000-3000
7	Clima medio y humedo transicional a medio seco	MH-MS	1000 - 2000	18 - 24	800 - 1500
8	Clima medio muy seco	MMS	1000-2000	18 - 24	500 - 1000
9	Clima medio y humedo	MH	1000 -2000	18 - 24	1000 - 2000
10	Clima medio y muy humedo	MMH	1000 - 2000	18 - 24	2000 - 4000
11	Clima medio y humedo, transicional a frio humedo	MH-MF	1500 - 2000	14 - 20	2000 - 3000
12	Clima frio humedo y muy humedo	FH	2000 - 3000	12 - 18	1000 - 4000
13	Clima frio y muy frio, pluvial	FP	2000 - 3500	<18	>4000
14	Clima extremadamente frio y pluvial	EFP	>3600	<8	1000- 2000
15	Clima subnival y pluvial	SP	>4200	<4	1000 - 2000

Teniendo como base la zonificación climática del IGAC para el presente estudio se unificaron aquellas zonas climáticas con características de Altitud y temperatura similares, se tomaron estas dos características por sugerencia de expertos en el tema de la Secretaria de Agricultura Departamental y de la Universidad Surcolombiana, quienes manifestaron que para estudios de evapotranspiración potencial sería una zonificación adecuada, la tabla 3 muestran los climas a unir.

Tabla 3. Zonificación climática del departamento del Huila para la Evapotranspiración Potencial.

ZONA	N°	DESCRIPCION	SIMBOLO	ALTITUD (msnm)	TEMPERATURA MEDIA (°C)
1	1	Clima calido muy seco	CMS	<500	>28
	2	Clima calido Muy seco,transicional a calido seco	CMS-CS	500 -1000	25 -27
	3	Clima calido seco	CSb	<1000	25 - 28
	4	Clima calido seco	Csa	<500	25 - 28
	5	Clima calido seco, transicional a calido muy seco	CS-CMS	500 - 1000	24 - 28
	6	Clima calido y humedo	CH	500 - 1000	25 - 28
2	7	Clima medio y humedo transicional a medio seco	MH-MS	1000 - 2000	18 - 24
	8	Clima medio muy seco	MMS	1000-2000	18 - 24
	9	Clima medio y humedo	MH	1000 -2000	18 - 24
	10	Clima medio y muy humedo	MMH	1000 - 2000	18 - 24
3	11	Clima medio y humedo, transicional a frio humedo	MH-MF	1500 - 2000	14 - 20
4	12	Clima frio humedo y muy humedo	FH	2000 - 3000	12 - 18
	13	Clima frio y muy frio, pluvial	FP	2000 - 3500	<18
5	14	Clima extremadamente frio y pluvial	EFP	>3600	<8
6	15	Clima subnival y pluvial	SP	>4200	<4

Con estas seis (6) zonas climáticas del departamento del Huila se obtuvo como resultado la Figura 6 La cual se muestra en el capítulo de resultados.

5.3. INFORMACIÓN CLIMATOLÓGICA

Para los cálculos de evapotranspiración potencial bajo los distintos métodos a utilizar se requiere información climatológica confiable. La cual se adquirió de los registros del IDEAM quien cuenta con 149 estaciones activas en la zona de del Departamento del Huila, de las cuales 4 son de clase Hidrometeorológicas, 28 Hidrológicas y 117 Meteorológicas.

Teniendo como base las estaciones activas se llevó a cabo un reconocimiento teniendo como medida de selección aquellas estaciones que cuenten con datos de evaporación y los registros de los parámetros necesarios para el cálculo de la evapotranspiración potencial. Al realizar la depuración se obtuvieron veintidós (22) estaciones que contara con estas dos condiciones, de las cuales quince (15) son de categoría climatológica Ordinaria, cuatro (4) de categoría climatológica Principal, dos (2) de categoría climatológica Agrometeorológica y una (1) estación sinóptica. A continuación la tabla 4 relaciona las estaciones climatológicas del IDEAM seleccionadas.

Tabla 4. Estaciones del IDEAM seleccionadas.

Nº	MUNICIPIO	ESTACIÓN	TIPO DE ESTACION	ELEVACION (msnm)	LATITUD	LONGITUD
1	VILLAVIEJA	SAN ALFONSO	AM	440	03°22' N	75°06' W
2	VILLAVIEJA	BOCA LA	CO	420	03°11' N	75°16' W
3	VILLAVIEJA	SAN JOSE	CO	400	03°19' N	75°11' W
4	TERUEL	SAN RAFAEL	CO	1030	02°45' N	75°34' W
5	SANTA MARIA	STA MARIA	CO	1300	02°56' N	75°35' W
6	SAN AGUSTIN	PARQUE ARQUEOLOGIC	CP	1800	01°53' N	76°17' W
7	PITALITO	SEVILLA	CO	1320	01°49' N	76°07' W
8	PALERMO	JUNCAL EL	CO	460	02°49' N	75°19' W
9	LA PLATA	ESC AGR LA PLATA	CP	1070	02°22' N	75°53' W
10	IQUIRA	TERPEYA COLOMBIA	CO	1650	02°39' N	75°39' W
11	IQUIRA	IQUIRA	CO	1095	02°39' N	75°37' W
12	GUADALUPE	RESINA	CO	2102	01°54' N	75°54' W
13	GARZON	ZULUAGA	CO	1270	02°15' N	75°31' W
14	COLOMBIA	LEGIOSA LA	CO	1476	03°18' N	74°42' W
15	CAMPOALEGRE	HIDROBETANIA	CP	500	02°42' N	75°25' W
16	CAMPOALEGRE	ROSALES LOS	CP	553	02°36' N	75°25' W
17	BARAYA	MANILA LA HDA	AM	600	03°07' N	75°04' W
18	ALTAMIRA	ALTAMIRA EL GRIFO	CO	1368	02°04' N	75°44' W
19	ALGECIRAS	ALGECIRAS	CO	1155	02°31' N	75°19' W
20	ACEVEDO	CUEVA LOS GUACHARO	CO	2225	01°35' N	76°00' W
21	NEIVA	PALACIO-VEGALARGA	CO	1100	02°56' N	75°03' W
22	NEIVA	APTO BENITO SALAS	SS	439	02°56' N	75°17' W

El cálculo de la evapotranspiración potencial se llevó a cabo con el promedio mensual-multianual de los últimos quince (15) años con que cuenta la estación (si tiene menos de quince (15) años se tomó todos los años que registra), de esta manera se garantiza que la información sea la más actualizada y confiable posible.

5.4. MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN

Según la bibliografía consultada e igualmente considerando el uso extensivo de algunas fórmulas en diferentes investigaciones y consultorías, se tomaron como base para el estudio las siguientes formulas empíricas de evapotranspiración potencial:

5.4.1. Formula H.F. Blaney and W.D. Criddle (1950)¹

Harry F. Blaney and Waine D. Criddle (1950) desarrollaron una fórmula que permite estimar la cantidad de agua necesaria para el riego según determinados cultivos, concepto que los autores denominan uso consuntivo y que equiparan al de evapotranspiración potencial. Fundamentan su método en el hecho de que el agua necesaria por un cultivo es función de la temperatura, de las horas de luz y de la cubierta vegetal. El método original, desarrollado en 1942 por Blaney and Morin, fue modificado por Blaney and Criddle en 1945 y 1950, la fórmula para el cálculo de la evapotranspiración es el siguiente:

$$ETP = P(0.46 Tm + 8) \quad \text{Ecuación 4}$$

- ETP = evapotranspiración Potencial (en mm/día) (promedio en un periodo de 1 mes).
- Tm = temperatura media diaria (°C).
- p = % diario de horas de luz del mes, con respecto al total anual. (ver anexo 1.)

¹ Tomado de Blaney, H. and Criddle, W. 1950. "Determining wáter requirements in irrigated áreas from climatological and irrigation data"

5.4.2. Formula de Hargreaves (1975)²

Hargreaves con su ecuación Permite el cálculo de la evapotranspiración potencial en función de la temperatura, el brillo solar y el coeficiente mensual de luz solar, la fórmula para el cálculo de la evapotranspiración potencial es la siguiente:

$$0.0075 \times Rsm \times Tm^{\circ F} \quad \text{Ecuación 5}$$

Dónde:

- ETP = Evapotranspiración potencial (mm/mes)
- Rsm = Radiación solar incidente (mm)
- Tm = Temperatura media (°F)

$$Rsm = 0.075 \times Rmm \times s^{1/2} \quad \text{Ecuación 6}$$

Dónde:

- Rmm = Radiación extraterrestre (mm) (ver anexo 2.)
- S = (N/24)*100
- S= Porcentaje de brillo solar
- N= Número de horas luz por latitud (ver anexo 3.)

5.4.3. Formula de thornthwaite (1948)³

Ch. Thornthwaite desarrollo la fórmula para el cálculo de la evapotranspiración potencial que lleva su nombre, al relacionar resultados experimentales de evapotranspiración con datos de temperaturas medias mensuales, parámetros que se encuentran correlacionados al depender ambos de la radiación neta. Fue propuesto en 1948. El método fue desarrollado utilizando lecturas de lisímetros y balances hídricos realizados en cuencas pequeñas de diferentes zonas de Estados Unidos. Thornthwaite asegura que su método no es preciso en zonas áridas pues emplea la temperatura en lugar de la radiación neta, que tiene una relación física más directa con la evapotranspiración potencial, la ecuación de Thornthwaite se presenta a continuación:

$$ETP = K_j 16 \left(\left(\frac{10T_i}{J} \right)^a \right) \quad \text{Ecuación 7}$$

² Tomado de Hargreaves G. 1975 "Water requirements manual for irrigated crops and rainfed agriculture"

³ Tomado de Thornthwaite, C. 1948. "An Approach Toward a Rational Classification of Climate"

Donde T_i es la temperatura media mensual del aire para el mes i ($^{\circ}\text{C}$). Se deben excluir los valores negativos de temperatura. K_i es un factor de corrección mensual que depende de la latitud. Se aplica debido a que el método fue desarrollado suponiendo un mes de 30 días con 12 horas de luz solar diarias. Para determinar el valor de K_i se utiliza la Tabla 6 factores de corrección K_i para la fórmula de thornthwaite.

Tabla 5. Factores de corrección K_i para la fórmula de thornthwaite.

Latitud Norte	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
0	1.04	0.94	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04
5	1.02	0.93	1.03	1.02	1.06	1.03	1.06	1.05	1.01	1.03	0.99	1.02
10	1.00	0.91	1.03	1.03	1.08	1.05	1.08	1.07	1.02	1.02	0.98	0.99
15	0.97	0.91	1.03	1.04	1.11	1.08	1.12	1.08	1.02	1.01	0.95	0.97

El índice de calor anual J se calcula a partir de las temperaturas medias de los doce meses, así:

$$J = \sum_{i=1}^{12} J_i \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde J_i es un valor mensual definido así:

$$J_i = \left(\frac{T_i}{5}\right)^{1.514} \quad \text{Ecuación 9}$$

El exponente a en función del índice de calor anual y está definido por la siguiente expresión:

$$a = 0.49239 + 0.01792J - 7.71 \times 10^{-5}J^2 + 6.75 \times 10^{-7}J^3 \quad \text{Ecuación 10}$$

5.4.4. Formula de Christiansen (1966)⁴

Se trata de una formula empírica que tiene en cuenta la radiación solar, velocidad del viento, humedad relativa, temperatura, insolación y elevación para la estimación de la evapotranspiración potencial en mm/mes. La ecuación presenta la siguiente forma:

$$ETP = 0.324R_{xt}C_wC_HC_T C_S C_e \quad \text{Ecuación 11}$$

⁴ Tomada de Christiansen, J. 1966. "Estimating evaporation and evapotranspiration from climatic data"

Donde R_{xt} es la radiación solar que se expresa como:

$$R_{xt} = R_{tt} \times \frac{\text{Numero dias del mes}}{60} \quad \text{Ecuación 12}$$

R_{tt} es la radiación extraterrestre tomada en la parte superior de la atmosfera y expresada en cal/cm² día. Su valor se obtiene del anexo 4.

El coeficiente de viento C_w se calcula según la siguiente expresión:

$$C_w = 0.672 + 0.406 \left(\frac{W}{W_0} \right) - 0.078 \left(\frac{W}{W_0} \right)^2 \quad \text{Ecuación 13}$$

W es la velocidad media mensual del viento a 2.0 m de altura sobre el suelo, expresada en Km/h.

$$W_0 = 6.7 \text{ km/h.}$$

El coeficiente de humedad relativa C_H se define como:

$$C_H = 1.035 + 0.24 \left(\frac{Hm}{Hm_0} \right)^2 - 0.275 \left(\frac{Hm}{Hm_0} \right)^3 \quad \text{Ecuación 14}$$

Donde Hm es la humedad relativa media mensual (en decimales).

$$Hm_0 = 0.60.$$

C_T es el coeficiente de temperatura y se calcula con la siguiente ecuación:

$$C_T = 0.463 + 0.425 \left(\frac{T_C}{T_{C_0}} \right) + 0.122 \left(\frac{T_C}{T_{C_0}} \right)^2 \quad \text{Ecuación 15}$$

T_C es la temperatura media mensual del aire expresada en °C.

$$T_{C_0} = 20^\circ\text{C.}$$

El coeficiente de Brillo solar C_s depende de la insolación y se define así:

$$C_s = 0.340 + 0.856 \left(\frac{S}{S_0} \right) - \left(\frac{S}{S_0} \right)^2 \quad \text{Ecuación 16}$$

S = (Brillo solar mes i / Brillo solar teórico mes i)

$$S_0 = 0.80$$

C_e es el coeficiente de elevación y se define con la siguiente expresión:

$$C_e = 0.970 + 0.030\left(\frac{e}{e_0}\right) \quad \text{Ecuación 17}$$

Donde e es la elevación promedio de la zona de estudio en msnm.

$e_0 = 305$ msnm.

5.4.5. Formula FAO Penman-Monteith (1949)⁵

La ecuación de Penman, desarrollada en 1948, combinó el método del balance energético con el de transferencia de masa y obtuvo una nueva metodología para el cálculo de la evaporación de una superficie abierta en función de las horas de sol, temperatura, humedad atmosférica y velocidad del viento. La ecuación original fue posteriormente modificada por diversos autores e investigadores quienes incluyeron factores de resistencia aerodinámica y resistencia superficial. (FAO 56 Estudios FAO Riegos y Drenajes), la ecuación de Penman-Monteith se presenta a continuación:

$$ETP = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad \text{Ecuación 18}$$

Dónde:

ETP = Evapotranspiración de referencia (mm/día)

R_n = Radiación neta en la superficie del cultivo ($\text{MJ m}^{-2}\text{día}^{-1}$)

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

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

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

e_s = presión de vapor de saturación (kPa)

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

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

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

⁵ Tomada de Estudio FAO riegos y drenajes (2006) "Evapotranspiración del cultivo, Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos".

Para la estimación de la evapotranspiración potencial para las veintidós (22) estaciones seleccionadas se utilizaron los datos mensuales-multianuales de los parámetros requeridos y posteriormente se llevó a cabo la programación de las fórmulas empíricas de evapotranspiración en el software Microsoft Office Excel obteniendo como resultado los valores de evapotranspiración potencial para cada una de las estaciones seleccionadas del Departamento del Huila.

5.5. CRITERIOS PARA SELECCIONAR LA MEJOR ECUACIÓN DE ETP

Para seleccionar cuál es la mejor fórmula de evapotranspiración potencial para el departamento del Huila, se parte de la comparación entre las estimaciones de evapotranspiración potencial por cada metodología versus la evapotranspiración estimada con la evaporación del tanque tipo A, para lo cual se tuvo en cuenta el índice porcentual y el coeficiente de correlación.

5.5.1. Índice Porcentual

El índice porcentual muestra la diferencia en porcentaje entre dos variables, para el caso del presente estudio es utilizado para indicar porcentualmente la diferencia que existe entre un método empírico de evapotranspiración potencial y la evapotranspiración estimada con la evaporación del tanque tipo A, mediante el cálculo siguiente:

$$IP = \left(\frac{ETP_m}{ETP_{ev}} * 100 \right) - 100 \quad \text{Ecuación 19}$$

Dónde:

ETP_m = evapotranspiración potencial estimada por un metodología empírica.

ETP_{ev} = evapotranspiración potencial estimada con la evaporación del tanque tipo A.

Para interpretar el índice porcentual, en la tabla 6 se puede observar para los diferentes rangos la relación que existe entre las variables involucradas.

Indice porcentual (%)	Ralación entre variables
0 - 15	Perfecta y confiable
16 - 30	Fuerte
31 - 50	Moderada
51 - 75	Escasa
>75	Nula

Tabla 6. Rangos para interpretar el índice porcentual.

5.5.2. Coeficiente de determinación (R^2)

Para calcular el coeficiente de determinación (R^2) se utilizaron regresiones lineales simples. En este tipo de regresión existe una sola variable independiente, en caso de este estudio la evapotranspiración estimada a partir de la evaporación real, y la relación entre la variable dependiente respecto a la independiente sigue una función lineal de la siguiente forma:

$$Y = B_0 + B_1X \quad \text{Ecuación 20}$$

En la ecuación 20 (Y) es la variable dependiente y (X) es la variable independiente. El termino B_0 es la ordenada en el origen e indica el valor de la variable dependiente cuando $X=0$. El termino B_1 es el coeficiente de regresión lineal el cual indica el incremento de la variable dependiente por cada unidad de aumento en la variable independiente (Sagarón, N. & Macías, M. 2005).

El coeficiente de determinación (R^2), es la relación que existe entre la suma de cuadrados de la regresión y la suma de cuadrados de (Y), como se indica en la ecuación:

$$R^2 = \frac{[(n \sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i) - (\sum_{i=1}^n x_i) \cdot (\sum_{i=1}^n y_i)]^2}{(n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2)(n \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2)} \quad \text{Ecuación 21}$$

Y_i es el valor simulado y corresponde al valor en (Y) de cada par de observaciones $(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3) \dots (x_i, y_i)$. (x_i) es el valor observado y corresponde al valor en (X) de cada par de observaciones mencionados anteriormente. El coeficiente de determinación puede interpretarse como un indicador de la proporción en la variabilidad total de la variable dependiente (Y) que se debe al efecto de la

variable independiente (X). Cuando (R^2) es igual a 1 significa que existe un ajuste lineal perfecto entre las variables, es decir que la variación total de la variable (Y) está definida por el modelo de regresión. Por otro lado, cuando (R^2) toma el valor de cero indica que el modelo de regresión no explica nada de la variación total de la variable (Y) (Caballero, 1981).

Algunos autores han propuesto los rangos que se muestran en la Tabla 7 para la interpretación del coeficiente de determinación (R^2). Estos rangos han sido adoptados en el presente estudio.

Coeficiente de determinación (R^2)	Relacion entre las variables analizadas
0.00 - 0.25	escasa o nula
0.26 - 0.50	debil
0.51 - 0.75	moderada y fuerte
0.76 - 1.00	fuerte y perfecta

Tabla 7. Rangos de interpretación para el coeficiente de determinación R^2 (Sagarón, N. & Macías, M. 2005).

6. RESULTADOS

6.1. ZONIFICACIÓN CLIMÁTICA PARA DETERMINAR LA MEJOR ECUACION DE EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL

Al unir las zonas climáticas con similar altitud y temperatura se obtuvo como resultado los climas relacionados en la tabla 8.

Tabla 8. Zonificación climática para la evapotranspiración potencial.

N°	DESCRIPCION	SIMBOLO	ALTITUD (msnm)	TEMPERATURA MEDIA (°C)
1	Clima calidos, transicional a calido seco y muy seco	A	< 1000	>25
2	Clima medio y humedos	B	1000-2000	18-24
3	Clima medio y humedo, transicional a frio humedo	C	1500-2000	14-20
4	Clima frio humedo y muy frio, pluvial	D	2000-3500	<18
5	Clima extremadamente frio y pluvial	E	>3600	<8
6	Clima subnival y pluvial	F	>4200	<4

Con las zonas climáticas definidas se continuó con la mapificación de la estructura climatológica en el departamento del Huila, obteniendo como resultado la figura 6. Una vez georeferenciadas las 22 estaciones seleccionadas se obtuvo la figura 7, la cual muestra la distribución de las estaciones por todo el departamento del Huila así: 45.4% de las estaciones climatológicas en la zona climática A que corresponde a diez (10) estaciones, 50% de las estaciones en la zona climática B que corresponde a once (11) estaciones y 4.6% de las estación hace parte de la zona climática C que corresponde a una (1) estación, en las zonas climáticas D,E y F no se encontraron estaciones que cuenten con parámetros de evaporación el cual es indispensable para la presente investigación.

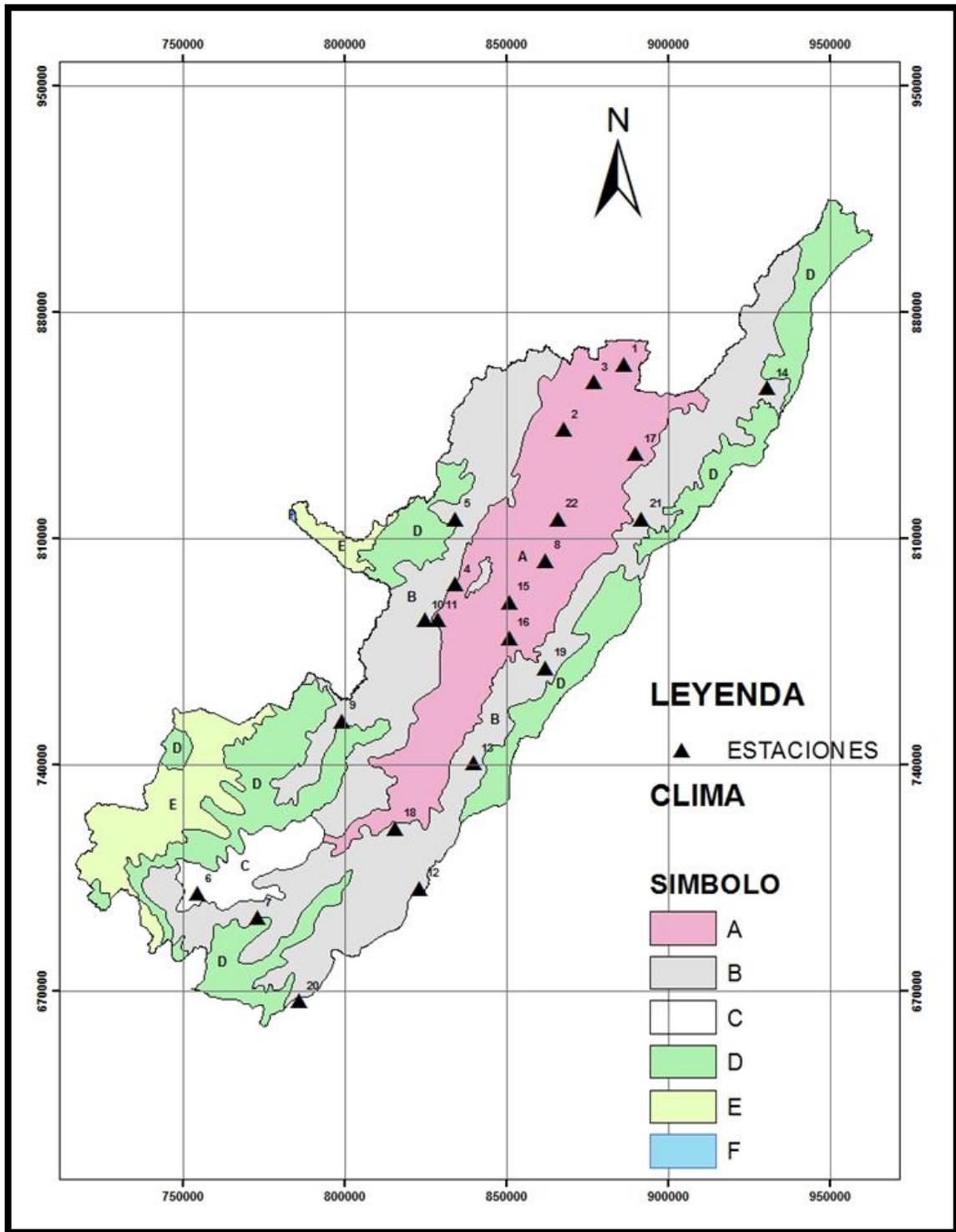


Figura 6. Zonificación climática para la evapotranspiración en el departamento del Huila y la georeferenciación de las estaciones seleccionadas.

Para una mayor interpretación de la figura 9 se muestra a continuación las estaciones y su clasificación climática.

Tabla 9. Estaciones climatológicas por zona climática en el departamento del Huila.

N°	MUNICIPIO	ESTACIÓN	ZONA CLIMÁTICA
1	VILLAVIEJA	SAN ALFONSO	A
2	VILLAVIEJA	BOCA LA	A
4	TERUEL	SAN RAFAEL	A
8	PALERMO	JUNCAL EL	A
16	CAMPOALEGRE	ROSALES LOS	A
17	BARAYA	MANILA LA HDA	A
3	VILLAVIEJA	SAN JOSE	A
15	CAMPOALEGRE	HIDROBETANIA	A
22	NEIVA	APTO BENITO SALAS	A
11	IQUIRA	IQUIRA	A
9	LA PLATA	ESC AGR LA PLATA	B
21	NEIVA	PALACIO-VEGALARGA	B
5	SANTA MARIA	STA MARIA	B
7	PITALITO	SEVILLA	B
10	IQUIRA	TERPEYA COLOMBIA	B
12	GUADALUPE	RESINA	B
13	GARZON	ZULUAGA	B
14	COLOMBIA	LEGIOSA LA	B
18	ALTAMIRA	ALTAMIRA EL GRIFO	B
19	ALGECIRAS	ALGECIRAS	B
20	ACEVEDO	CUEVA LOS GUACHARO	B
6	SAN AGUSTIN	PARQUE ARQUEOLOGIC	C

6.2. ESTIMACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL POR LOS 5 MÉTODOS SELECCIONADOS PARA CADA UNA DE LAS ZONAS CLIMÁTICA DEL DEPARTAMENTO

Para el cálculo de la evapotranspiración potencial se utilizaron los datos climatológicos de cada estación, la cual se encuentra en el anexo

6.2.1. Zona A. (Climas cálidos, transicionales a cálido seco y muy seco)

6.2.1.1. Resultados estación san Alfonso – Villavieja

Tabla 10. Resultados de la evapotranspiración potencial estación San Alfonso.

METODO DE ETP (mm/mes)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
FAO PENMAN-MONTEITH	104,5	110,4	103,5	97,9	97,8	99,8	112,7	122,5	121,3	108,6	93,1	90,2	1262,2
BLANEY AND CRIDDLE	176,9	161,6	177,0	171,7	179,5	174,1	182,0	186,2	178,2	177,5	167,3	173,4	2105,3
THORNTHWAITE	181,4	196,9	182,4	162,3	176,8	179,5	195,5	230,3	212,5	186,1	153,1	157,0	2213,9
CHISTIANSSEN	171,4	167,6	162,7	148,4	160,7	161,3	192,1	215,5	197,5	180,9	141,9	137,3	2037,2
HARGREAVES	148,6	142,0	160,0	151,4	151,9	143,0	150,8	160,1	155,8	156,8	142,2	143,2	1806,0
EVAPOTRANSPIRACION TANQUE	134,9	120,7	120,7	105,9	114,1	127,3	142,6	159,9	151,2	131,1	102,2	107,7	1518,3

La tabla 10 presenta los resultados de la estimación de la evapotranspiración potencial en mm/mes, por cada una de las metodologías seleccionadas. Se observa que el método de Thornthwaite presenta los datos de evapotranspiración potencial más altos, con un mínimo de 153.1 mm/mes en el mes de Noviembre y máximo de 230.3 en el mes de agosto.

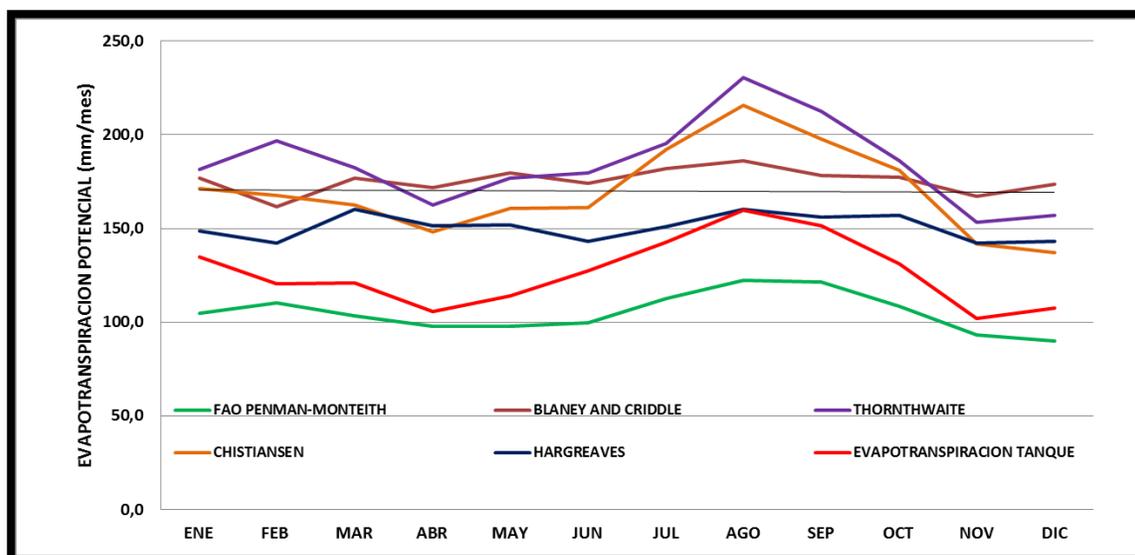


Figura 7. Evapotranspiración potencial calculada estación San Alfonso.

Tabla 11. Cálculo del índice porcentual estación San Alfonso.

INDICE PORCENTUAL (%)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROMEDIO ANUAL
FAO PENMAN-MONTEITH	22,5	8,5	14,3	7,5	14,3	21,6	21,0	23,4	19,8	17,2	9,0	16,3	16,9
BLANEY AND CRIDDLE	31,1	33,9	46,6	62,2	57,3	36,8	27,6	16,5	17,8	35,4	63,7	61,0	38,7
THORNTHWAITE	34,5	63,2	51,1	53,3	54,9	41,1	37,0	44,1	40,5	41,9	49,8	45,8	45,8
CHISTIENSEN	27,0	38,9	34,8	40,2	40,8	26,7	34,6	34,8	30,6	38,0	38,8	27,5	34,2
HARGREAVES	10,1	17,7	32,5	43,1	33,1	12,4	5,7	0,2	3,0	19,6	39,2	33,0	18,9

Como muestra la tabla 11 la ecuación de FAO Penman-Monteith presenta el índice porcentual más bajo, demostrando que para la estación SAN ALFONSO es la ecuación más ajustada a la evapotranspiración real.

Tabla 12. Cálculo del coeficiente de determinación R^2 estación San Alfonso.

	COEFICIENTE R2
FAO PENMAN-MONTEITH	0,84
BLANEY AND CRIDDLE	0,46
THORNTHWAITE	0,85
CHISTIENSEN	0,93
HARGREAVES	0,31

La tabla 12 presenta los coeficientes de determinación (R^2), donde se observa que la fórmula de Chistiansen presenta una relación fuerte con un coeficiente de determinación de 0,93. Sus valores tienden a tener el mismo comportamiento de la evapotranspiración real, aunque no en magnitud ya que la ecuación de Chistiansen está muy por encima de la evapotranspiración real.

6.2.1.2. Resultados estación La Boca – Villavieja

Tabla 13. Calculo de evapotranspiración potencial estación La Boca.

METODO DE ETP (mm/mes)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
FAO PENMAN-MONTEITH	105,9	114,9	106,6	102,4	89,0	95,7	109,1	122,7	123,1	108,8	96,9	98,9	1274,1
BLANEY AND CRIDDLE	173,9	160,0	175,6	171,2	176,2	172,1	180,1	182,2	176,1	173,9	165,8	172,8	2079,9
THORNTHWAITE	157,0	178,9	168,1	155,6	166,7	161,4	176,2	190,9	189,4	156,7	141,0	150,3	1992,2
CHISTIANSEN	180,5	185,8	179,6	165,8	140,6	164,8	199,5	226,1	212,4	182,9	156,7	172,8	2167,4
HARGREAVES	145,3	140,2	158,6	151,5	150,0	142,2	150,1	157,5	154,2	153,4	140,4	142,0	1785,4
EVAPOTRANSPIRACION TANQUE	121,1	121,4	121,0	108,0	106,8	112,9	140,4	154,3	156,4	123,9	90,7	97,2	1453,9

La tabla 13 presenta los resultados de la estimación de la evapotranspiración potencial en mm/mes, por cada una de las metodologías seleccionadas. Se observa que el método de FAO Penman-Monteith presenta los datos de evapotranspiración potencial más bajos, con un mínimo de 89.0 mm/mes en el mes de mayo y máximo de 123.1 mm/mes en el mes de septiembre.

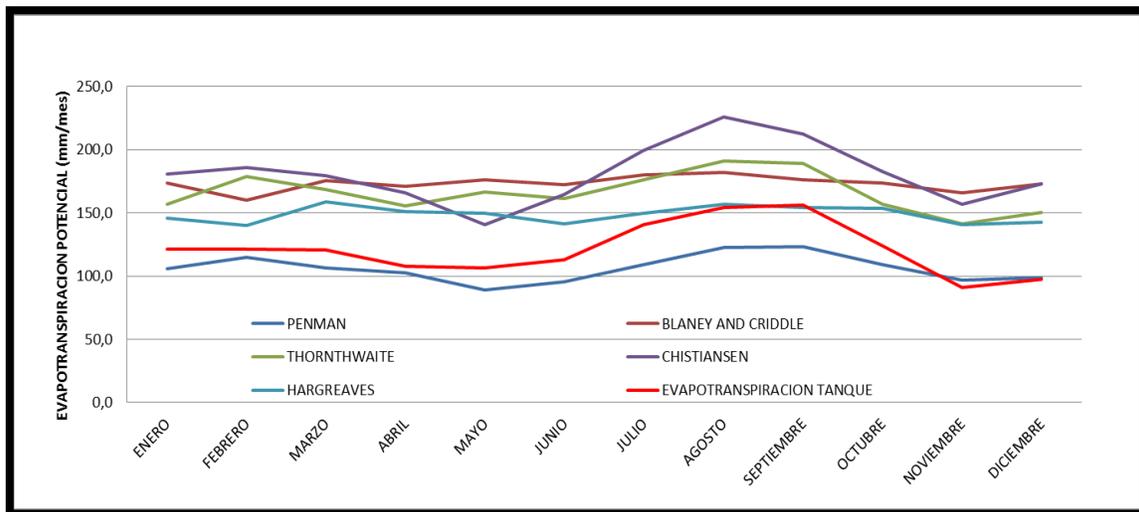


Figura 8. Evapotranspiración potencial calculada estación La Boca.

Tabla 14. Cálculo del índice porcentual estación La Boca.

INDICE PORCENTUAL (%)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROMEDIO ANUAL
FAO PENMAN-MONTEITH	12,6	5,3	11,9	5,1	16,7	15,2	22,3	20,5	21,2	12,1	6,8	1,8	12,4
BLANEY AND CRIDDLE	43,6	31,8	45,2	58,6	65,1	52,5	28,3	18,0	12,6	40,4	82,8	77,9	43,1
THORNTHWAITE	29,6	47,3	39,0	44,1	56,2	43,0	25,5	23,7	21,1	26,5	55,5	54,7	37,0
CHISTIANSEN	49,0	53,0	48,4	53,6	31,7	46,0	42,1	46,5	35,8	47,7	72,7	77,9	49,1
HARGREAVES	20,2	15,6	31,1	40,1	40,0	25,5	6,6	1,7	1,5	23,8	55,0	46,5	22,7

Como muestra la tabla 14 la ecuación de FAO Penman-Monteith presenta el índice porcentual más bajo, demostrando que para la estación LA BOCA-VILLAVIEJA es la ecuación más ajustada a la evapotranspiración real con un índice porcentual promedio de 12.4%.

Tabla 15. Cálculo del coeficiente de determinación R2 estación La Boca.

	COEFICIENTE R2
FAO PENMAN-MONTEITH	0,74
BLANEY AND CRIDDLE	0,32
THORNTHWAITE	0,80
CHISTIANSEN	0,80
HARGREAVES	0,38

La tabla 15 presenta los coeficientes de determinación (R^2), donde se observa que la fórmula de Chistiansen y Thornthwaite presenta las relaciones más fuertes con un coeficiente de 0.80 para los dos métodos.

6.2.1.3. Resultados estación San José - Villavieja

Tabla 16. Cálculo de evapotranspiración potencial estación San José.

METODO DE ETP (mm/mes)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
FAO PENMAN-MONTEITH	104,6	109,2	103,9	100,1	98,4	97,8	108,8	120,7	119,8	110,8	93,6	90,4	1258,2
BLANEY AND CRIDDLE	178,1	161,3	177,1	173,1	179,6	175,7	183,8	187,1	180,0	178,2	167,5	173,8	2115,4
THORNTHWAITE	185,4	188,6	177,6	166,7	189,1	186,1	204,4	232,3	222,8	185,7	149,3	154,2	2242,3
CHISTIANSEN	169,0	162,1	160,1	151,2	159,3	158,3	187,9	211,7	195,2	180,9	139,7	134,9	2010,4
HARGREAVES	148,8	141,3	160,0	153,2	152,8	145,2	153,2	161,7	157,6	157,2	141,9	142,8	1815,7
EVAPOTRANSPIRACION TANQUE	140,9	118,2	99,0	113,5	130,2	124,7	134,8	187,9	170,1	127,3	105,2	102,9	1554,7

La tabla 16 muestra la estimación de la evapotranspiración potencial en mm/mes, por cada una de las metodologías seleccionadas. La evapotranspiración potencial oscila entre de 90.4 mm/mes con la ecuación de FAO Penman-Monteith en el mes de diciembre y un máximo de 232.3 mm/mes con el método de Thornthwaite para el mes de agosto.

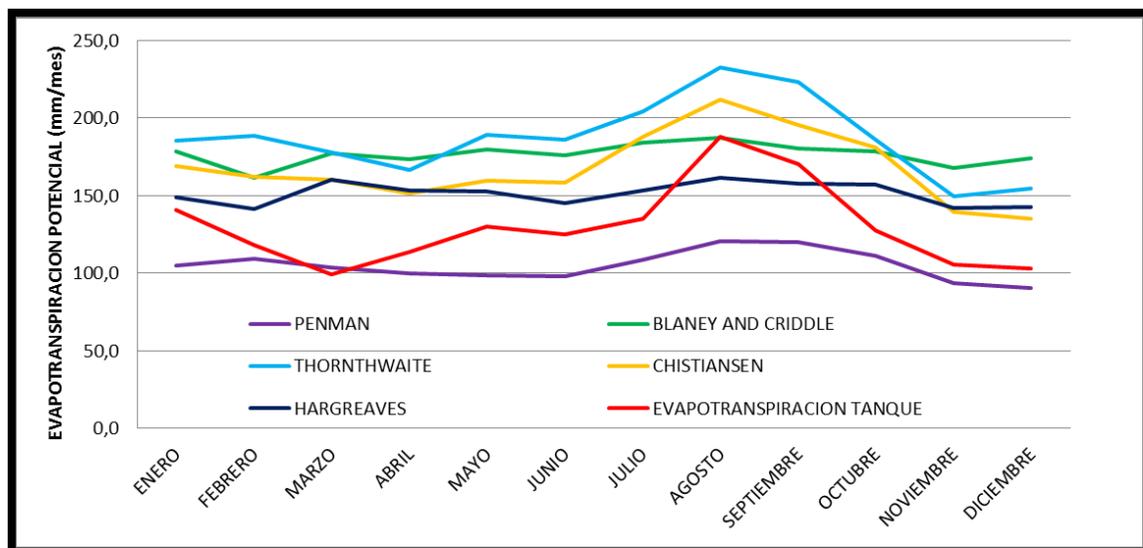


Figura 9. Evapotranspiración potencial calculada estación San José.

Tabla 17. Cálculo del índice porcentual estación San José.

INDICE PORCENTUAL (%)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROMEDIO ANUAL
FAO PENMAN-MONTEITH	25,8	7,6	4,9	11,8	24,5	21,6	19,3	35,7	29,6	13,0	11,0	12,1	19,1
BLANEY AND CRIDDLE	26,4	36,4	78,9	52,6	37,9	40,9	36,4	0,4	5,8	39,9	59,3	68,9	36,1
THORNTHWAITE	31,6	59,5	79,4	46,9	45,3	49,2	51,6	23,7	31,0	45,8	42,0	49,8	44,2
CHISTIANSEN	19,9	37,1	61,8	33,3	22,3	26,9	39,4	12,7	14,7	42,0	32,9	31,0	29,3
HARGREAVES	5,6	19,5	61,6	35,0	17,4	16,4	13,7	13,9	7,4	23,4	34,9	38,8	16,8

Como muestra la tabla 17 la ecuación de Hargreaves presenta el índice porcentual más bajo, demostrando que para la estación SAN JOSE-VILLAVIEJA es la ecuación con mayor ajuste con respecto a evapotranspiración estimada con la evaporación real con un índice porcentual promedio de 16.8%.

Tabla 18. Calculo del coeficiente de determinación R2 estación San José.

	COEFICIENTE R2
FAO PENMAN-MONTEITH	0,67
BLANEY AND CRIDDLE	0,42
THORNTHWAITE	0,83
CHISTIANSEN	0,79
HARGREAVES	0,29

La tabla 18 presenta los coeficientes de determinación (R^2), donde se observa que la fórmula de Thornthwaite y Chistiasen presenta unas relaciones más fuertes con un coeficiente de 0.83 y 0.79 respectivamente.

6.2.1.4. Resultados Estación San Rafael - Teruel

Tabla 19. Calculo de evapotranspiración potencial estación San Rafael.

METODO DE ETP (mm/mes)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
FAO PENMAN-MONTEITH	90,5	90,3	87,2	83,6	80,5	82,1	84,6	94,6	97,6	90,5	78,5	79,8	1039,9
BLANEY AND CRIDDLE	158,6	142,3	155,9	153,1	158,9	154,3	158,9	161,3	156,2	156,4	148,7	154,9	1859,5
THORNTHWAITE	100,5	97,4	92,4	90,8	102,0	94,5	92,7	99,7	100,3	94,0	86,2	89,8	1140,2
CHISTIANSEN	151,9	132,7	129,7	118,1	121,7	135,7	144,8	169,4	165,1	146,3	109,6	121,0	1645,9
HARGREAVES	133,6	125,5	141,2	135,1	134,5	127,0	131,7	138,9	136,9	138,6	126,8	128,2	1598,0
EVAPOTRANSPIRACION TANQUE	98,8	80,3	81,8	77,3	81,2	84,2	91,2	98,2	103,8	94,9	76,5	76,3	1044,5

En La tabla 19 se observa la estimación de la evapotranspiración potencial en mm/mes, por cada una de las metodologías seleccionadas. La evapotranspiración potencial de la ecuación de FAO Penman-Monteith es la más baja con una evapotranspiración potencial anual de 1039.9 mm/años.

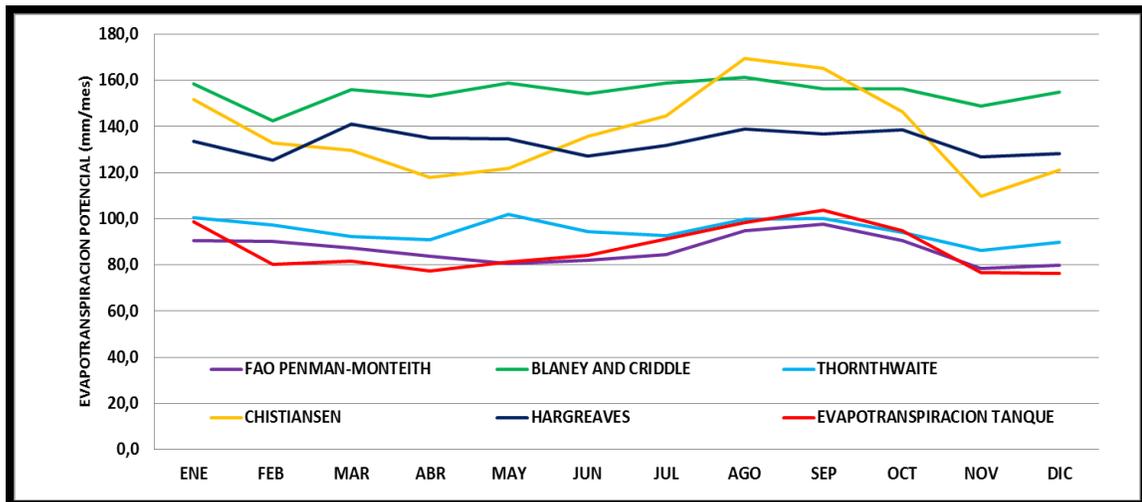


Figura 10. Evapotranspiración potencial estación San Rafael

Tabla 20. Cálculo del índice porcentual estación San Rafael.

INDICE PORCENTUAL (%)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROMEDIO ANUAL
FAO PENMAN-MONTEITH	8,4	12,5	6,7	8,2	0,9	2,5	7,2	3,6	6,0	4,6	2,6	4,6	0,4
BLANEY AND CRIDDLE	60,5	77,3	90,6	98,0	95,6	83,3	74,2	64,2	50,5	64,8	94,4	103,0	78,0
THORNTHWAITE	1,7	21,3	13,0	17,5	25,6	12,2	1,7	1,5	3,4	1,0	12,7	17,6	9,2
CHISTIANSSEN	53,7	65,3	58,6	52,8	49,9	61,2	58,7	72,5	59,1	54,2	43,2	58,5	57,6
HARGREAVES	35,2	56,3	72,7	74,8	65,6	50,9	44,4	41,4	31,9	46,0	65,8	68,0	53,0

Como se observa en la tabla 20 la ecuación de FAO Penman-Monteith presenta el índice porcentual más bajo, demostrando que para la estación SAN RAFAEL-TERUEL es la ecuación con mayor ajuste con respecto a evapotranspiración estimada con la evaporación real con un índice porcentual promedio anual de 0.4%

Tabla 21. Calculo del coeficiente de determinación R2 estación san Rafael.

	COEFICIENTE R2
PENMAN	0,69
BLANEY AND CRIDDLE	0,30
THORNTHWAITE	0,39
CHISTIANSSEN	0,89
HARGREAVES	0,25

La tabla 21 presenta los coeficientes de determinación (R^2), donde se observa que la fórmula de Chistiansen con un coeficiente de 0.89 presenta una relación fuerte y casi perfecta como lo señala la tabla 6 (Sargos y Macías, 2005).

6.2.1.5. Resultados estación El Juncal - Palermo

Tabla 22. Calculo de evapotranspiración potencial estación El Juncal.

METODO DE ETP (mm/mes)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
FAO PENMAN-MONTEITH	90,6	93,4	90,3	88,9	88,7	89,5	99,0	110,1	103,5	95,6	85,1	85,7	1120,5
BLANEY AND CRIDDLE	172,8	155,9	171,6	168,1	174,1	169,6	176,0	178,1	172,1	172,9	164,6	171,1	2047,0
THORNTHWAITE	151,6	150,5	144,8	139,0	155,5	147,3	151,6	163,8	162,5	152,4	136,9	142,1	1797,9
CHISTIANSEN	140,8	130,6	127,5	123,0	136,4	144,0	172,1	193,3	165,2	151,2	121,2	135,9	1741,2
HARGREAVES	145,5	137,4	155,3	148,2	147,3	139,4	145,8	153,3	150,7	153,1	140,3	141,5	1757,6
EVAPOTRANSPIRACION TANQUE	107,8	112,6	101,2	99,1	100,1	118,9	138,8	155,6	134,3	114,0	89,1	90,9	1362,4

La tabla 22 muestra la estimación de la evapotranspiración potencial en mm/mes, por cada una de las metodologías seleccionadas. La evapotranspiración potencial de la ecuación de Blaney And Criddle es la más alta con una evapotranspiración potencial anual de 2047.0 mm/años.

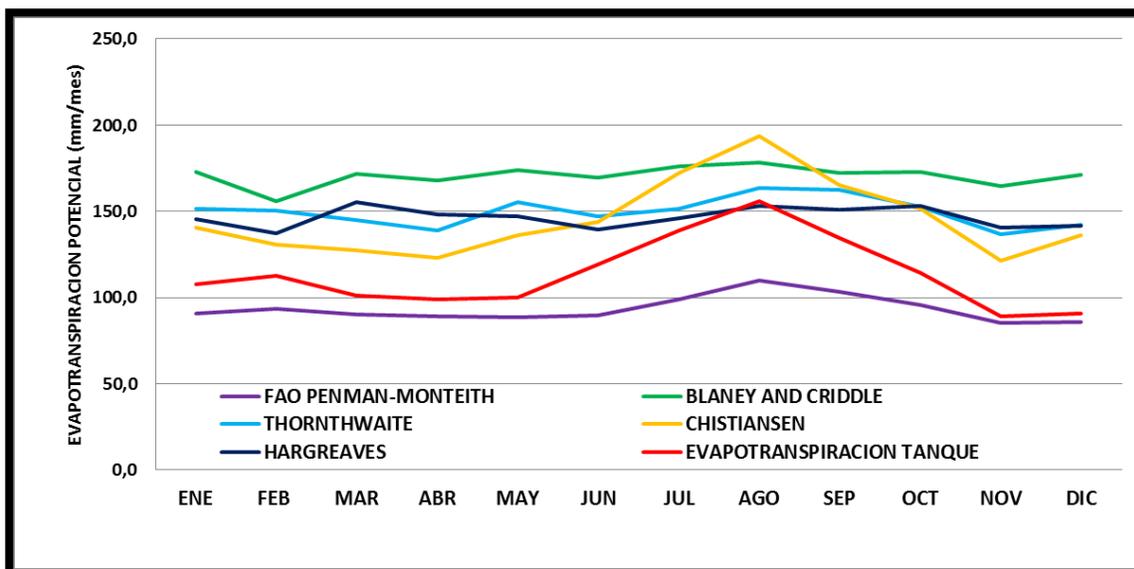


Figura 11. Evapotranspiración potencial estación El Juncal.

Tabla 23. Cálculo del índice porcentual estación El Juncal.

INDICE PORCENTUAL (%)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROMEDIO
FAO PENMAN-MONTEITH	16,0	17,0	10,8	10,3	11,4	24,7	28,7	29,2	22,9	16,1	4,4	5,7	17,8
BLANEY AND CRIDDLE	60,3	38,5	69,5	69,6	73,9	42,6	26,8	14,4	28,2	51,7	84,8	88,2	50,2
THORNTHWAITE	40,7	33,7	43,0	40,2	55,3	23,8	9,2	5,2	21,1	33,7	53,6	56,3	32,0
CHISTIANSEN	30,6	16,0	25,9	24,1	36,2	21,1	24,0	24,2	23,1	32,6	36,0	49,5	27,8
HARGREAVES	35,0	22,0	53,4	49,6	47,1	17,2	5,0	1,5	12,2	34,3	57,5	55,7	29,0

Como se muestra en la tabla 23 la ecuación de FAO Penman-Monteith presenta el índice porcentual más bajo, demostrando que para la estación EL JUNCAL-PALERMO es la ecuación con mayor ajuste con respecto a evapotranspiración estimada con la evaporación real con un índice porcentual promedio anual de 17.8%.

Tabla 24. Calculo del coeficiente de determinación R2 estación El Juncal.

	COEFICIENTE R2
FAO PENMAN-MONTEITH	0,90
BLANEY AND CRIDDLE	0,21
THORNTHWAITE	0,64
CHISTIANSEN	0,89
HARGREAVES	0,12

La tabla 24 muestra los coeficientes de determinación (R^2), donde se observa que la fórmula de FAO Penman-Monteith y Chistiansen presenta con un coeficiente de relación fuerte y casi perfecta con 0.90 y 0.89 respectivamente.

6.2.1.6. Resultados estación Iquira - Iquira

Tabla 25. Calculo de evapotranspiración potencial estación Iquira.

METODO DE ETP (mm/mes)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
FAO PENMAN-MONTEITH	94,2	96,8	91,1	94,0	92,5	98,0	106,8	117,1	115,9	102,5	85,6	85,9	1180,4
BLANEY AND CRIDDLE	156,6	142,0	156,7	154,2	159,5	154,2	160,0	161,7	158,1	158,2	150,3	155,8	1867,3
THORNTHWAITE	94,0	95,9	94,3	93,7	103,4	93,5	95,5	100,7	105,9	98,8	90,2	91,8	1157,7
CHISTIANSSEN	166,5	157,7	150,1	158,9	168,4	182,2	197,1	222,0	216,3	190,6	138,6	147,6	2096,0
HARGREAVES	132,0	125,2	141,9	136,1	135,0	126,9	132,6	139,3	138,5	140,1	128,2	129,0	1604,8
EVAPOTRANSPIRACION TANQUE	89,1	84,0	91,1	87,0	92,8	95,1	100,9	108,4	104,5	100,5	79,8	83,5	1116,5

La tabla 25 muestra la estimación de la evapotranspiración potencial en mm/mes, por cada una de las metodologías seleccionadas. La evapotranspiración potencial de la ecuación de Chistiansen es la más alta con una evapotranspiración potencial anual de 2096.0 mm/años.

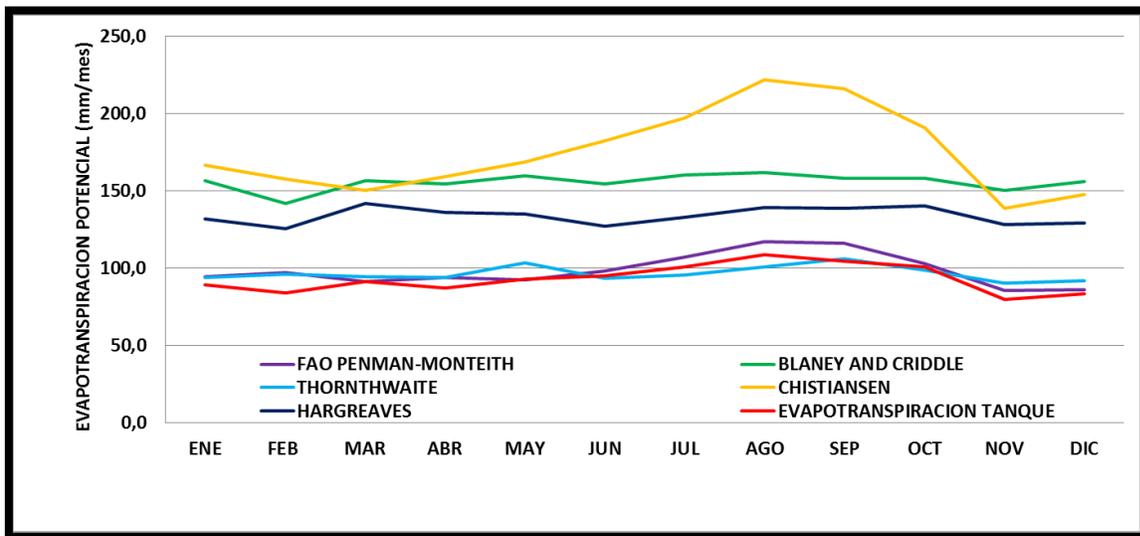


Figura 12. Grafica de la evapotranspiración potencial Estación Iquira.

Tabla 26. Cálculo del índice porcentual estación Iquira.

INDICE PORCENTUAL (%)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROMEDIO
FAO PENMAN-MONTEITH	5,7	15,3	0,0	8,1	0,3	3,1	5,8	8,1	11,0	2,0	7,2	2,9	5,7
BLANEY AND CRIDDLE	75,8	69,1	72,0	77,3	71,9	62,2	58,6	49,2	51,4	57,4	88,3	86,7	67,3
THORNTHWAITE	5,5	14,2	3,6	7,7	11,5	1,6	5,3	7,1	1,3	1,7	13,1	9,9	3,7
CHISTIANSEN	86,9	87,7	64,8	82,7	81,6	91,7	95,4	104,8	107,0	89,7	73,8	76,8	87,7
HARGREAVES	48,1	49,1	55,8	56,5	45,5	33,5	31,5	28,5	32,6	39,4	60,6	54,5	43,7

Como se muestra en la tabla 26 la ecuación de Thornthwaite presenta el índice porcentual más bajo, demostrando que para la estación IQUIRA-IQUIRA es la ecuación con mayor ajuste con respecto a evapotranspiración estimada con la evaporación real con un índice porcentual promedio anual de 3.7%.

Tabla 27. Calculo del coeficiente de determinación R2 estación Iquira.

	COEFICIENTE R2
FAO PENMAN-MONTEITH	0,84
BLANEY AND CRIDDLE	0,49
THORNTHWAITE	0,51
CHISTIANSEN	0,92
HARGREAVES	0,37

La tabla 27 muestra los coeficientes de determinación (R^2), donde se observa que la fórmula de Chistiansen y FAO Penman-Monteith presenta con un coeficiente de relación fuerte y casi perfecta con 0.92 y 0.84 respectivamente.

6.2.1.7. Resultados estación Hidrobetania - Campoalegre

Tabla 28. Calculo de evapotranspiración potencial estación Hidrobetania.

METODO DE ETP (mm/mes)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
FAO PENMAN-MONTEITH	104,5	110,8	99,5	102,1	103,9	114,5	129,5	153,4	138,9	113,0	99,3	92,5	1362,0
BLANEY AND CRIDDLE	172,7	156,7	170,8	167,8	174,2	168,9	175,3	177,7	172,5	171,8	162,8	168,7	2039,9
THORNTHWAITE	151,3	155,7	140,7	137,8	156,5	143,5	147,8	161,7	164,7	146,3	127,7	129,7	1763,3
CHISTIANSEN	182,2	175,5	158,7	162,5	176,3	188,8	211,2	233,5	218,2	192,8	158,8	151,0	2209,4
HARGREAVES	145,6	138,0	154,5	148,0	147,4	138,9	145,2	152,9	151,0	152,1	138,8	139,5	1751,8
EVAPOTRANSPIRACION TANQUE	125,2	123,4	105,3	109,1	134,0	148,5	158,4	172,6	166,7	136,6	100,6	105,6	1585,9

La tabla 28 presenta los resultados de la estimación de la evapotranspiración potencial en mm/mes, por cada una de las metodologías seleccionadas. Se observa que el método de Chistiansen presenta los datos de evapotranspiración potencial más altos en todos los meses del año, con un mínimo de 151.0 mm/mes en el mes de diciembre y máximo de 233.5 mm/mes en el mes de agosto.

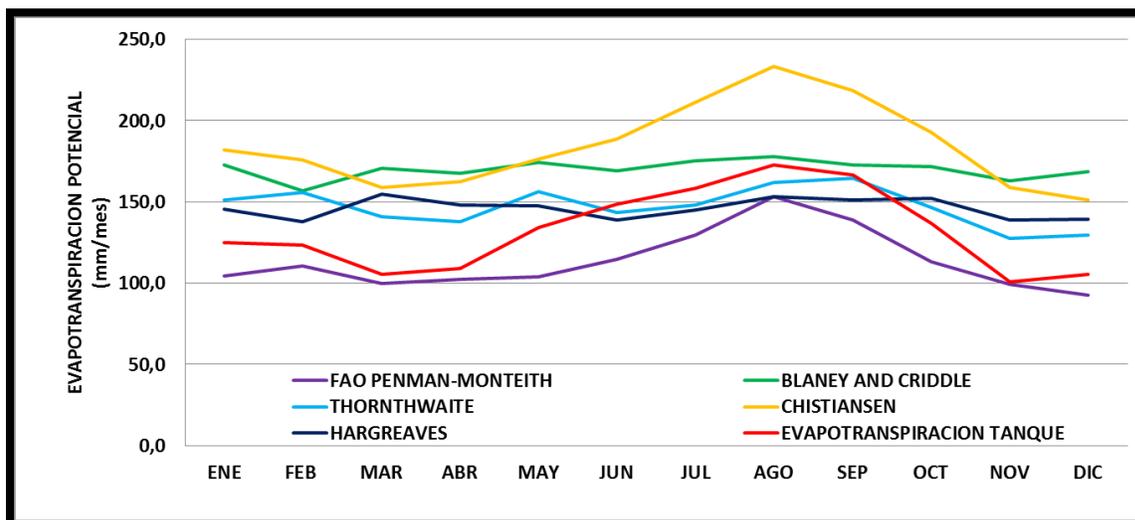


Figura 13. Grafica de la evapotranspiración potencial estación Hidrobetania

Tabla 29. Cálculo del índice porcentual estación Hidrobetania.

INDICE PORCENTUAL (%)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROMEDIO
FAO PENMAN-MONTEITH	16,5	10,3	5,5	6,4	22,5	22,9	18,2	11,1	16,6	17,3	1,3	12,4	14,1
BLANEY AND CRIDDLE	38,0	26,9	62,2	53,8	30,0	13,7	10,6	2,9	3,5	25,8	61,9	59,7	28,6
THORNTHWAITE	20,9	26,1	33,6	26,4	16,8	3,3	6,7	6,3	1,2	7,1	26,9	22,8	11,2
CHISTIANSEN	45,6	42,2	50,7	48,9	31,6	27,2	33,3	35,3	30,9	41,2	57,8	43,0	39,3
HARGREAVES	16,3	11,8	46,8	35,7	10,0	6,5	8,3	11,4	9,4	11,4	37,9	32,1	10,5

Como muestra la tabla 29 la ecuación de Hargreaves presenta el índice porcentual más bajo, demostrando que para la estación HIDROBETANIA-CAMPOALEGRE es la ecuación más ajustada a la evapotranspiración real.

Tabla 30. Calculo del coeficiente de determinación R^2 estación Hidrobetania.

	COEFICIENTE R2
FAO PENMAN-MONTEITH	0,86
BLANEY AND CRIDDLE	0,34
THORNTHWAITE	0,61
CHISTIANSEN	0,94
HARGREAVES	0,11

La tabla 30 presenta los coeficientes de determinación (R^2), donde muestra que la fórmula de Chistiansen y FAO Penman-Monteit presenta una relación fuerte y casi perfecta como lo señala la tabla 6 (Sargos y Macías, 2005).

6.2.1.8. Resultados estación Los Rosales - Campoalegre

Tabla 31. Calculo de evapotranspiración potencial estación Los Rosales.

METODO DE ETP (mm/mes)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
FAO PENMAN-MONTEITH	108,6	111,8	103,9	101,1	101,9	110,4	127,9	142,7	132,8	113,3	94,4	94,2	1343,0
BLANEY AND CRIDDLE	174,9	158,9	173,5	169,2	176,0	171,1	178,8	182,0	175,8	174,5	164,7	170,6	2069,8
THORNTHWAITE	163,5	170,3	154,7	143,8	165,5	155,3	168,1	189,5	186,9	160,9	135,5	138,1	1932,0
CHISTIANSSEN	200,1	186,4	175,8	165,5	178,4	192,1	223,5	245,4	224,2	201,6	155,0	162,0	2310,0
HARGREAVES	147,8	140,3	157,1	148,9	148,3	140,3	147,6	156,3	153,8	154,7	140,7	141,5	1777,3
EVAPOTRANSPIRACION TANQUE	112,2	101,2	97,5	89,6	99,9	115,8	140,2	153,4	141,5	116,8	83,7	86,0	1337,9

La tabla 31 presenta los resultados de la estimación de la evapotranspiración potencial en mm/mes, por cada una de las metodologías seleccionadas. Se observa que la evapotranspiración oscila entre 83.7 mm/mes para el mes de noviembre por el método del tanque evaporímetro tipo A y 245.4 mm/mes para el mes de agosto por el método de Chistiansen.

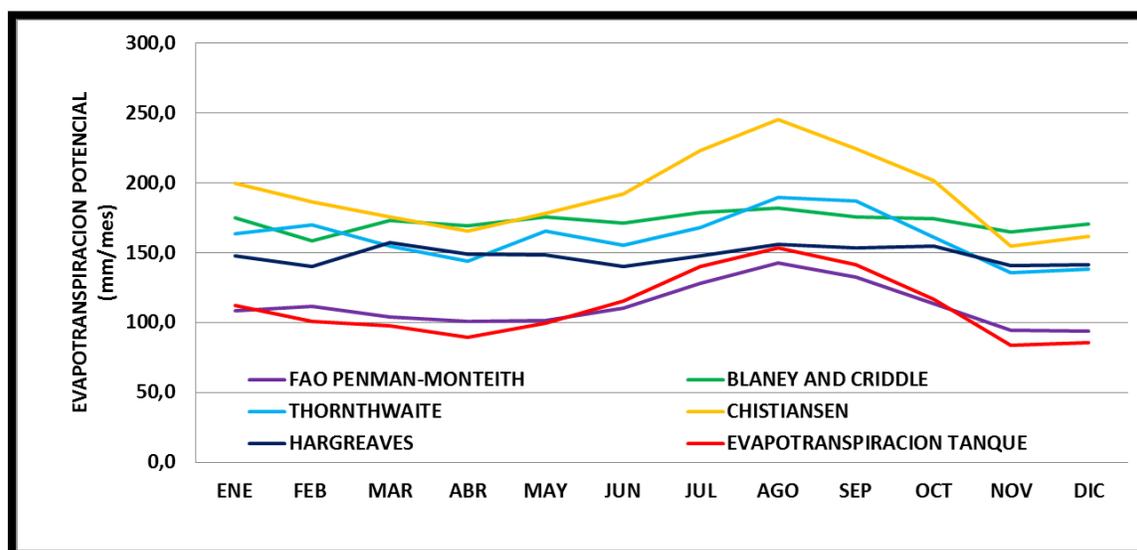


Figura 14. Grafica de la evapotranspiración potencial estación Los Rosales

Tabla 32. Cálculo del índice porcentual estación Los Rosales.

INDICE PORCENTUAL (%)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROMEDIO
FAO PENMAN-MONTEITH	3,2	10,5	6,6	12,8	2,0	4,7	8,7	7,0	6,1	3,0	12,8	9,5	0,4
BLANEY AND CRIDDLE	55,9	57,1	77,9	88,7	76,2	47,7	27,6	18,6	24,2	49,3	96,6	98,4	54,7
THORNTHWAITE	45,7	68,4	58,6	60,4	65,7	34,0	19,9	23,5	32,1	37,7	61,8	60,5	44,4
CHISTIANSSEN	78,3	84,3	80,3	84,6	78,6	65,8	59,4	60,0	58,4	72,6	85,1	88,3	72,6
HARGREAVES	31,7	38,7	61,1	66,1	48,5	21,1	5,3	1,8	8,7	32,4	68,0	64,5	32,8

Como muestra la tabla 32 la ecuación de FAO Penman-Monteith presenta el índice porcentual más bajo, demostrando que para la estación LOS ROSALES-CAMPOALEGRE es la ecuación más ajustada a la evapotranspiración real con un índice porcentual promedio de 0.4.

Tabla 33. Calculo del coeficiente de determinación R^2 estación Los Rosales.

	COEFICIENTE R2
FAO PENMAN-MONTEITH	0,95
BLANEY AND CRIDDLE	0,49
THORNTHWAITE	0,76
CHISTIANSSEN	0,98
HARGREAVES	0,25

La tabla 33 presenta los coeficientes de determinación (R^2), donde se observa que la fórmula de Chistiansen y FAO Penman-Monteith presentan unas relaciones muy fuerte con unos coeficientes de 0.98 y 0.95 respectivamente.

6.2.1.9. Resultados estación Hda La Manilla - Baraya

Tabla 34. Calculo de evapotranspiración potencia estación Hda la Manilla.

METODO DE ETP (mm/mes)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
FAO PENMAN-MONTEITH	100,9	105,6	100,6	96,2	93,0	92,0	100,9	110,2	111,3	105,1	92,0	86,7	1194,4
BLANEY AND CRIDDLE	171,5	155,0	170,0	167,4	173,2	168,8	176,4	178,7	172,4	170,2	161,9	168,0	2033,5
THORNTHWAITE	145,2	145,8	137,6	127,7	141,5	134,4	144,0	156,3	153,7	138,3	124,3	127,4	1676,2
CHISTIANSSEN	170,2	163,6	160,9	148,9	154,0	153,7	182,4	203,8	189,9	178,2	143,2	134,6	1983,4
HARGREAVES	143,4	135,9	153,6	146,6	145,8	137,9	145,4	152,7	149,4	150,2	137,3	138,1	1736,1
EVAPOTRANSPIRACION TANQUE	115,1	111,7	105,0	99,4	103,9	108,0	133,8	144,3	137,6	129,0	97,7	108,7	1394,2

En La tabla 34 se observa la estimación de la evapotranspiración potencial en mm/mes, por cada una de las metodologías seleccionadas. La evapotranspiración potencial de la ecuación de FAO Penman-Monteith es la más baja con una evapotranspiración potencial anual de 1194.4 mm/año y la ecuación de Blaney and Criddle es la más alta con un evapotranspiración anual de 2033.5 mm/año.

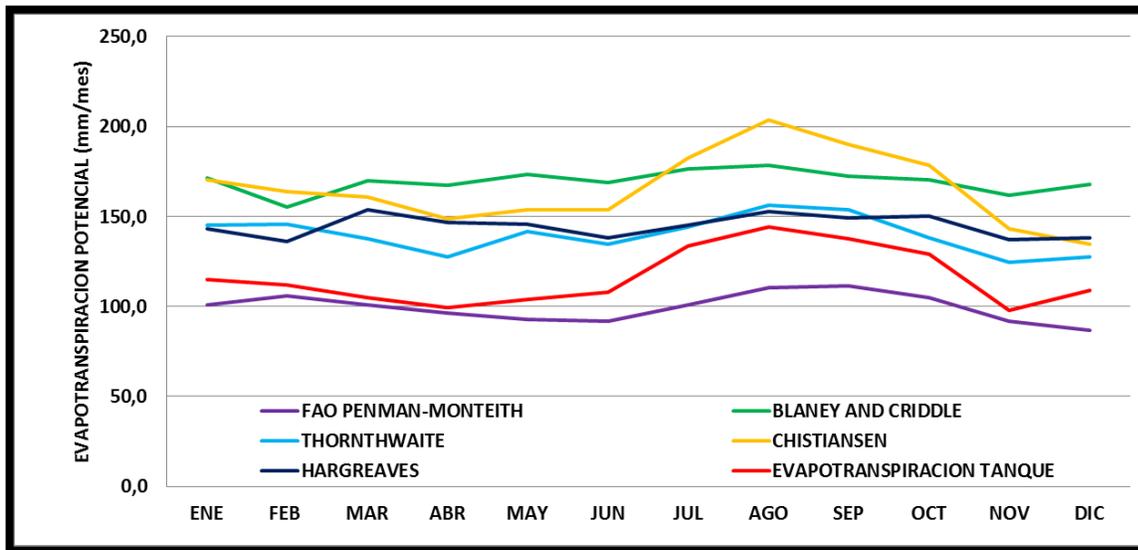


Figura 15. Grafica de la evapotranspiración potencial estación Hda la Manilla.

Tabla 35. Cálculo del índice porcentual estación Hda la Manilla.

INDICE PORCENTUAL (%)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROMEDIO
FAO PENMAN-MONTEITH	12,3	5,4	4,2	3,2	10,5	14,8	24,6	23,7	19,1	18,5	5,9	20,3	14,3
BLANEY AND CRIDDLE	49,0	38,8	61,9	68,4	66,6	56,3	31,8	23,8	25,4	32,0	65,8	54,5	45,9
THORNTHWAITE	26,1	30,6	31,0	28,4	36,1	24,5	7,7	8,3	11,8	7,2	27,2	17,2	20,2
CHISTIANSEN	47,8	46,5	53,2	49,7	48,1	42,3	36,3	41,2	38,0	38,2	46,6	23,8	42,3
HARGREAVES	24,5	21,7	46,3	47,5	40,2	27,7	8,6	5,8	8,6	16,4	40,5	27,1	24,5

Como se observa en la tabla 35 la ecuación de FAO Penman-Monteith presenta el índice porcentual más bajo, demostrando que para la estación HDA LA MANILLA-BARAYA es la ecuación con mayor ajuste con respecto a evapotranspiración estimada con la evaporación real con un índice porcentual promedio anual de 14.3%

Tabla 36. Calculo del coeficiente de determinación R2 Hda la Manilla.

	COEFICIENTE R2
FAO PENMAN-MONTEITH	0,59
BLANEY AND CRIDDLE	0,36
THORNTHWAITE	0,64
CHISTIANSEN	0,85
HARGREAVES	0,25

La tabla 36 presenta los coeficientes de determinación (R^2), donde se observa que la fórmula de Chistiansen con un coeficiente de 0.85 presenta una relación fuerte y casi perfecta como lo señala la tabla 6 (Sargos y Macías, 2005).

6.2.1.10. Resultados estación Apto Benito Salas - Neiva

Tabla 37. Calculo de evapotranspiración potencial estación Apto Benito Salas.

METODO DE ETP (mm/mes)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
FAO PENMAN-MONTEITH	93,9	96,5	93,3	91,9	90,3	92,8	103,8	116,3	108,1	97,3	85,6	84,0	1153,8
BLANEY AND CRIDDLE	174,9	158,9	173,5	169,2	176,0	171,1	178,8	182,0	175,8	174,5	164,7	170,6	2069,8
THORNTHWAITE	163,5	170,3	154,7	143,8	165,5	155,3	168,1	189,5	186,9	160,9	135,5	138,1	1932,0
CHISTIANSSEN	152,8	143,9	138,2	131,5	142,4	153,3	182,4	205,3	178,5	156,9	120,2	123,4	1828,7
HARGREAVES	146,7	139,6	156,8	149,5	149,3	141,0	148,6	157,0	153,9	154,2	139,9	140,7	1777,1
EVAPOTRANSPIRACION TANQUE	131,1	121,0	126,6	118,4	122,8	136,4	165,4	187,8	167,1	143,5	111,3	113,8	1645,2

En la tabla 37 se observan los valores de evapotranspiración potencial estimado por cada una de las metodologías seleccionadas. En esta se puede observar que la ecuación de Blaney and Criddle presenta el promedio anual más alto con un mínimo de 158.9 mm/mes para febrero y un máximo de 182.0 mm/mes para el mes de agosto.

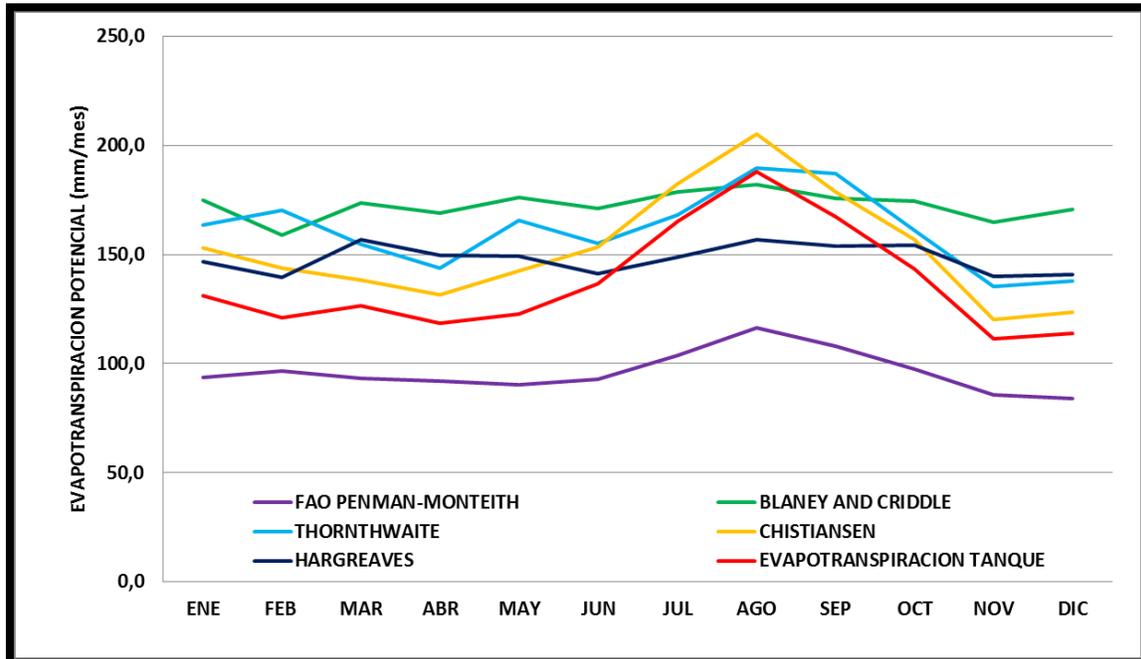


Figura 16. Grafica de la evapotranspiración potencial estación Apto Benito Salas.

Tabla 38. Cálculo del índice porcentual estación Apto Benito Salas.

INDICE PORCENTUAL (%)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROMEDIO
FAO PENMAN-MONTEITH	28,4	20,2	26,3	22,4	26,4	32,0	37,2	38,0	35,3	32,2	23,1	26,1	29,9
BLANEY AND CRIDDLE	33,4	31,4	37,0	42,9	43,3	25,4	8,1	3,1	5,2	21,6	47,9	49,9	25,8
THORNTHWAITE	24,7	40,8	22,1	21,5	34,7	13,8	1,7	0,9	11,8	12,1	21,7	21,3	17,4
CHISTIANSEN	16,6	19,0	9,1	11,1	15,9	12,3	10,3	9,3	6,8	9,4	7,9	8,5	11,2
HARGREAVES	11,9	15,4	23,8	26,3	21,5	3,4	10,1	16,4	7,9	7,4	25,7	23,6	8,0

Como se muestra en la tabla 38 la ecuación de Hargreaves presenta el índice porcentual más bajo, demostrando que para la estación APTO BENITO SALAS-NEIVA es la ecuación con mayor ajuste con respecto a la evapotranspiración estimada con la evaporación real con un índice porcentual promedio anual de 8%.

Tabla 39. Cálculo del coeficiente de determinación R^2 estación Apto Benito Salas.

	COEFICIENTE R2
FAO PENMAN-MONTEITH	0,91
BLANEY AND CRIDDLE	0,54
THORNTHWAITE	0,69
CHISTIANSEN	0,97
HARGREAVES	0,38

La tabla 39 muestra los coeficientes de determinación (R^2), donde se observa que la fórmula de Chistiansen y FAO Penman-Monteith presenta con un coeficiente de relación fuerte y casi perfecta con 0.97 y 0.91 respectivamente.

6.2.2. Zona B (Climas medios y húmedos)

6.2.2.1. Resultados estación Santa María – Santa María

Tabla 40. Calculo de evapotranspiración potencial estación Santa María.

METODO DE ETP (mm/mes)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
PENMAN	87,1	87,1	84,7	82,8	81,2	79,8	84,0	90,6	92,2	84,6	77,4	77,8	1009,2
BLANEY AND CRIDDLE	147,0	133,3	147,8	145,7	150,3	144,7	149,9	150,8	146,4	147,3	141,4	146,2	1750,9
THORNTHWAITE	77,4	78,8	79,1	79,2	86,6	76,9	77,8	79,8	80,8	78,0	75,4	75,6	945,4
CHISTIENSEN	121,7	112,0	112,3	109,3	119,7	127,6	149,1	166,0	151,6	120,5	96,1	101,3	1487,4
HARGREAVES	123,5	117,3	133,8	128,9	127,7	119,5	124,8	130,3	128,4	130,4	120,3	120,7	1505,6
EVAPOTRANSPIRACION TANQUE	83,2	73,8	75,2	70,8	77,5	76,5	84,5	88,4	88,2	74,7	66,2	70,7	929,6

En La tabla 40 se observa la estimación de la evapotranspiración potencial en mm/mes, por cada una de las metodologías seleccionadas. La evapotranspiración potencial de la ecuación de FAO Penman-Monteith es la más cercana con respecto a la evapotranspiración anual estimada con la evaporación del tanque tipo A, con una diferencia entre ellas de evapotranspiración potencial anual de 79.6 mm/año.

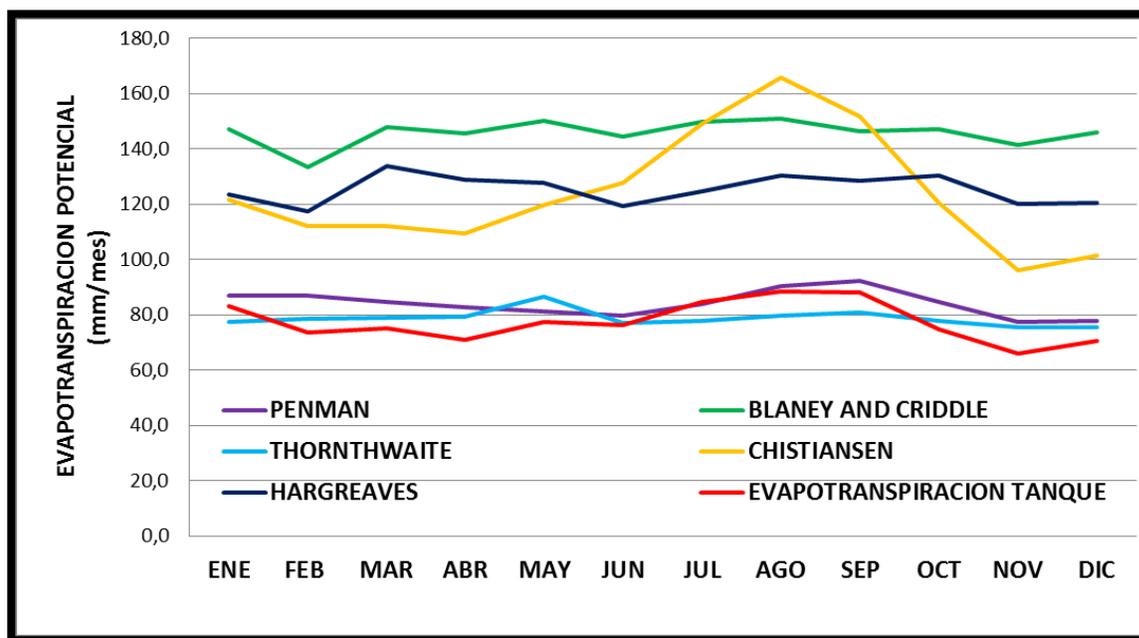


Figura 17. Evapotranspiración potencial estación Santa María.

Tabla 41. Cálculo del índice porcentual estación Santa María.

INDICE PORCENTUAL (%)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROMEDIO
FAO PENMAN-MONTEITH	4,6	18,0	12,6	16,9	4,9	4,3	0,7	2,5	4,6	13,3	17,0	10,0	8,6
BLANEY AND CRIDDLE	76,6	80,6	96,5	105,7	94,1	89,2	77,3	70,7	66,1	97,3	113,7	106,8	88,3
THORNTHWAITE	7,0	6,7	5,2	11,8	11,8	0,6	8,0	9,7	8,3	4,5	14,0	6,9	1,7
CHISTIANSEN	46,3	51,7	49,3	54,3	54,5	66,9	76,4	87,9	72,0	61,4	45,3	43,4	60,0
HARGREAVES	48,4	58,9	77,9	82,0	64,9	56,2	47,6	47,5	45,6	74,6	81,9	70,8	62,0

En la tabla 41 muestra que La ecuación de Thornthwaite presenta el índice porcentual más bajo, demostrando que para la estación STA MARIA- SANTA MARIA es la ecuación más ajustada con respecto a evapotranspiración estimada con la evaporación real con un índice porcentual promedio de 8.6%

Tabla 42. Calculo del coeficiente de determinación R2 estación Santa maría.

	COEFICIENTE R2
FAO PENMAN-MONTEITH	0,63
BLANEY AND CRIDDLE	0,24
THORNTHWAITE	0,12
CHISTIANSEN	0,87
HARGREAVES	0,11

La tabla 42 presenta los coeficientes de determinación (R^2), donde se observa que la fórmula de Chistiansen con un coeficiente de 0.87 presenta una relación fuerte.

6.2.2.2. Resultados estación Sevilla - Pitalito

Tabla 43. Calculo de evapotranspiración potencial estación Sevilla.

METODO DE ETP (mm/mes)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
FAO PENMAN-MONTEITH	94,1	94,5	88,0	86,9	81,3	74,8	76,4	81,9	90,4	92,4	88,0	87,0	1035,9
BLANEY AND CRIDDLE	148,0	134,1	146,7	143,5	147,5	140,7	144,2	144,3	141,6	145,6	141,5	146,7	1724,4
THORNTHWAITE	81,0	82,0	78,0	77,9	84,0	71,9	69,5	69,7	73,8	75,7	77,1	78,2	918,7
CHISTIANSSEN	164,3	149,3	135,5	131,4	126,7	112,0	118,4	129,2	144,6	152,7	143,0	147,1	1654,2
HARGREAVES	126,7	119,5	133,3	126,8	124,4	115,4	119,1	124,3	125,0	129,8	122,1	123,1	1489,4
EVAPOTRANSPIRACION TANQUE	87,7	74,4	69,3	65,5	67,5	56,6	59,2	62,0	71,4	73,7	73,5	71,9	832,8

La tabla 43 presenta los resultados de la estimación de la evapotranspiración potencial en mm/mes, por cada una de las metodologías seleccionadas. Se observa que la evapotranspiración potencial por las diferentes metodologías va desde los 56.6 mm/mes con la metodología del tanque tipo A para el mes de junio y 152.7 mm/mes con la ecuación de Chistiansen para el mes de octubre.

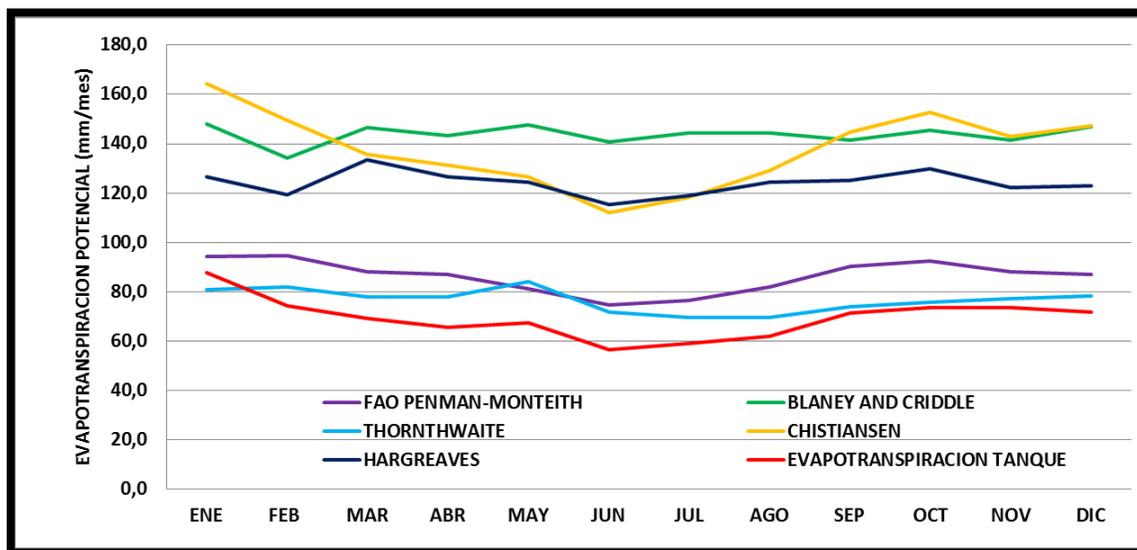


Figura 18. Evapotranspiración potencial estación Sevilla.

Tabla 44. Cálculo del índice porcentual Estación Sevilla.

INDICE PORCENTUAL (%)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
FAO PENMAN-MONTEITH	7,3	27,2	27,1	32,6	20,5	32,1	29,0	32,1	26,6	25,4	19,8	21,0	24,4
BLANEY AND CRIDDLE	68,7	80,4	111,7	118,9	118,6	148,4	143,5	132,6	98,3	97,6	92,6	104,0	107,1
THORNTHWAITE	7,7	10,3	12,6	18,9	24,4	26,9	17,4	12,3	3,4	2,7	4,9	8,6	10,3
CHISTIANSEN	87,2	100,8	95,6	100,6	87,7	97,7	99,8	108,2	102,6	107,3	94,7	104,5	98,6
HARGREAVES	44,4	60,7	92,5	93,5	84,3	103,8	101,1	100,3	75,0	76,2	66,2	71,1	78,9

Como muestra la tabla 44 la ecuación de Thornthwaite presenta el índice porcentual más bajo, demostrando que para la estación SEVILLA es la ecuación más ajustada a la evapotranspiración real.

Tabla 45. Calculo del coeficiente de determinación R2 estación Sevilla.

	COEFICIENTE R2
FAO PENMAN-MONTEITH	0,76
BLANEY AND CRIDDLE	0,03
THORNTHWAITE	0,40
CHISTIANSEN	0,91
HARGREAVES	0,18

La tabla 45 presenta los coeficientes de determinación (R^2), donde se observa que la fórmula de Chistiansen presenta una relación fuerte y casi perfecta como lo señala la tabla 6 (Sargos y Macías, 2005).

6.2.2.3. Resultados Estación Esc Agr La Plata - La Plata

Tabla 46. Calculo de evapotranspiración potencial estación Esc Agr La Plata.

METODO DE ETP (mm/mes)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
FAO PENMAN-MONTEITH	87,4	89,7	87,0	84,3	80,7	78,6	82,4	90,4	96,4	90,8	81,8	79,9	1029,3
BLANEY AND CRIDDLE	153,5	139,4	153,9	151,0	156,0	149,7	154,7	156,5	153,1	154,6	148,9	153,3	1824,7
THORNTHWAITE	90,7	93,2	91,7	90,0	89,8	86,5	86,5	91,1	95,9	93,8	91,6	90,1	1091,0
CHISTIANSEN	138,9	130,9	128,4	118,6	119,1	119,3	133,9	152,2	160,3	148,0	124,1	123,0	1596,6
HARGREAVES	130,4	123,6	139,6	132,8	131,2	122,7	127,5	134,2	134,1	137,5	127,7	127,6	1568,8
EVAPOTRANSPIRACION TANQUE	78,1	70,5	72,6	65,4	71,4	71,3	76,8	86,3	88,9	88,7	66,8	71,1	908,0

La tabla 46 presenta los resultados de la estimación de la evapotranspiración potencial en mm/mes, por cada una de las metodologías seleccionadas. Se observa que evapotranspiración potencial por el método del tanque evaporímetro tipo A oscila entre 65.4 mm/mes para el mes de abril y 88.9 mm/mes para el mes de septiembre.

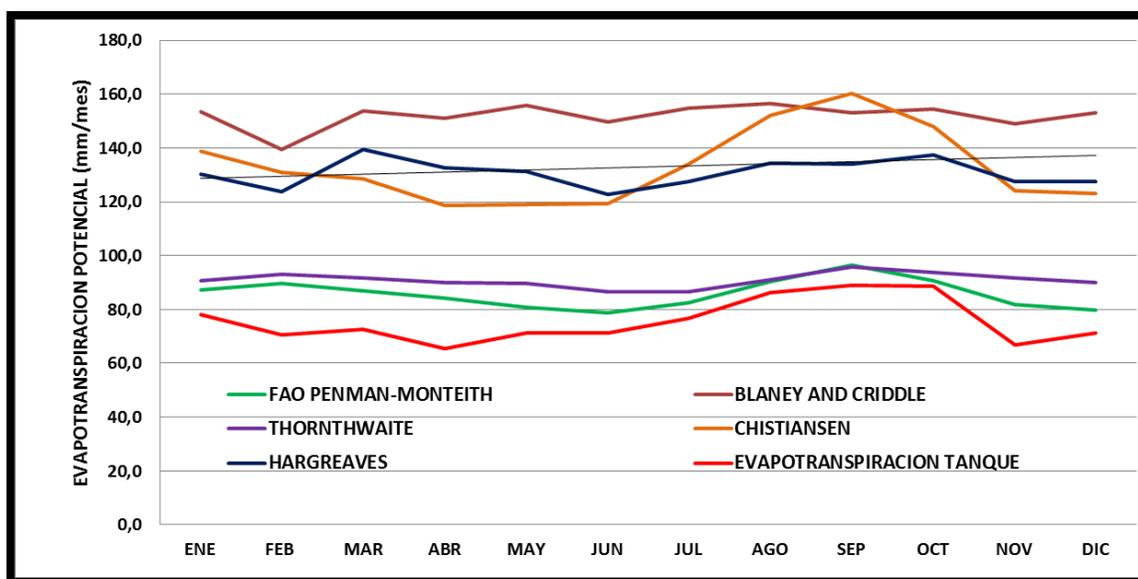


Figura 19. Evapotranspiración potencial estación Esc Agr La Plata.

Tabla 47. Cálculo del índice porcentual estación Esc Agr La Plata.

INDICE PORCENTUAL (%)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROMEDIO
FAO PENMAN-MONTEITH	11,8	27,3	19,8	28,8	13,0	10,3	7,3	4,7	8,4	2,3	22,6	12,3	13,4
BLANEY AND CRIDDLE	96,4	97,9	111,9	130,9	118,5	110,2	101,4	81,3	72,3	74,2	123,0	115,6	101,0
THORNTHWAITE	16,0	32,3	26,3	37,6	25,8	21,4	12,5	5,6	7,9	5,8	37,3	26,7	20,2
CHISTIANSSEN	77,8	85,8	76,9	81,2	66,8	67,5	74,2	76,3	80,3	66,8	85,8	72,9	75,9
HARGREAVES	66,8	75,5	92,2	102,9	83,8	72,1	65,9	55,5	50,9	54,9	91,2	79,5	72,8

Como muestra la tabla 47 la ecuación de FAO Penman-Monteith presenta el índice porcentual más bajo, demostrando que para la estación ESC AGR LA PLATA-LA PLATA es la ecuación más ajustada a la evapotranspiración real con un índice porcentual de 13.4%.

Tabla 48. Calculo del coeficiente de determinación R2 estación Esc Agr La Plata.

	COEFICIENTE R2
FAO PENMAN-MONTEITH	0,55
BLANEY AND CRIDDLE	0,21
THORNTHWAITE	0,22
CHISTIANSSEN	0,88
HARGREAVES	0,24

La tabla 48 presenta los coeficientes de determinación (R^2), donde se observa que la fórmula de Chistiansen presenta la relación más fuerte con un coeficiente de 0,88.

6.2.2.4. Resultados estación Terpeya - Colombia

Tabla 49. Calculo de evapotranspiración potencial Estación Terpeya.

METODO DE ETP (mm/mes)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
FAO PENMAN-MONTEITH	95,8	95,8	93,4	91,9	88,3	90,0	98,2	110,2	108,9	97,7	87,4	86,6	1144,1
BLANEY AND CRIDDLE	138,9	126,4	139,5	136,5	142,5	137,1	141,4	143,0	139,8	140,4	133,8	137,8	1657,0
THORNTHWAITE	67,7	69,6	68,9	68,8	76,6	68,1	67,6	70,6	73,3	70,5	66,5	65,7	833,8
CHISTIANSSEN	163,6	157,2	157,5	154,6	164,9	179,1	206,8	233,3	217,0	184,9	141,3	144,3	2104,6
HARGREAVES	117,2	111,6	126,5	121,4	120,7	112,9	117,3	123,3	122,6	124,5	114,2	114,2	1426,4
EVAPOTRANSPIRACION TANQUE	63,7	65,0	72,0	62,0	67,9	68,8	74,1	82,4	83,5	72,3	55,8	59,4	826,9

La tabla 49 presenta los resultados de la estimación de la Evapotranspiración potencial en mm/mes, por cada una de las metodologías seleccionadas. Se observa que la evapotranspiración potencial por el método de Thornthwaite oscila entre 65.7 mm/mes en diciembre y 76.6 mm/mes en mayo, teniendo una evapotranspiración anual muy cercana a la del tanque tipo A.

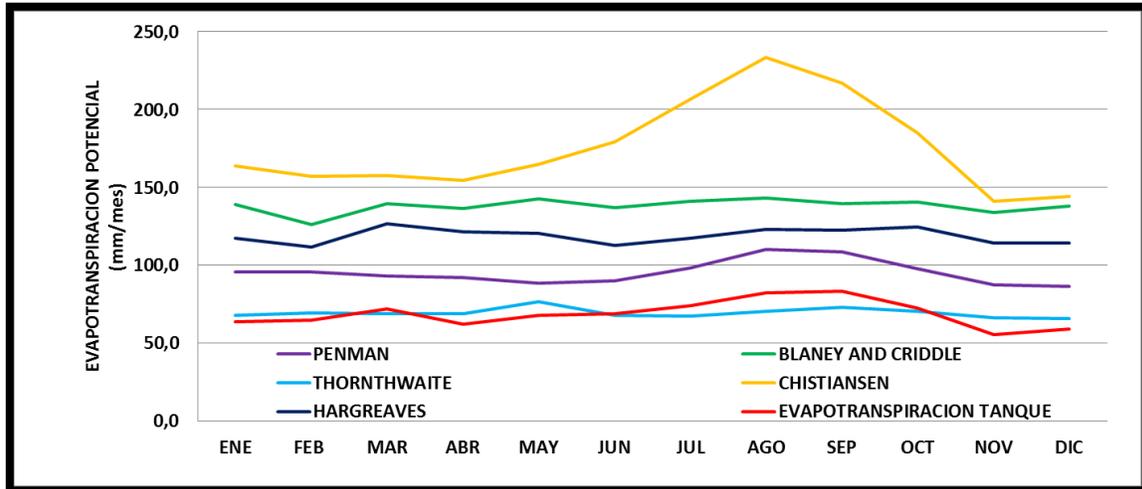


Figura 20. Grafica de la evapotranspiración potencial estación Terpeya.

Tabla 50. Cálculo del índice porcentual estación Terpeya.

INDICE PORCENTUAL (%)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROMEDIO
FAO PENMAN-MONTEITH	50,3	47,4	29,7	48,3	30,1	30,8	32,5	33,7	30,4	35,0	56,7	45,9	38,4
BLANEY AND CRIDDLE	118,0	94,4	93,8	120,2	109,9	99,2	90,8	73,5	67,5	94,1	139,8	132,1	100,4
THORNTHWAITE	6,2	7,1	4,3	10,9	12,8	1,0	8,8	14,3	12,2	2,6	19,2	10,7	0,8
CHISTIENSEN	156,9	141,8	118,7	149,5	142,9	160,3	179,1	183,0	159,9	155,7	153,3	143,0	154,5
HARGREAVES	84,0	71,6	75,7	95,8	77,7	64,0	58,3	49,6	46,8	72,1	104,8	92,4	72,5

Como muestra la tabla 50 la ecuación de Thornthwaite presenta el índice porcentual más bajo, demostrando que para la estación TERPEYA-COLOMBIA es la ecuación más ajustada a la evapotranspiración real con un índice anual promedio de 0.8%.

Tabla 51. Calculo del coeficiente de determinación R^2 Estación Terpeya.

	COEFICIENTE R2
FAO PENMAN-MONTEITH	0,76
BLANEY AND CRIDDLE	0,29
THORNTHWAITE	0,26
CHISTIENSEN	0,85
HARGREAVES	0,34

La tabla 51 presenta los coeficientes de determinación (R^2), donde se observa que la fórmula de Chistiansen y FAO Penman-Monteith presenta relaciones fuertes con un coeficiente de 0.85 y 0.76 respectivamente.

6.2.2.5. Resultados estación Resina - Guadalupe

Tabla 52. Calculo de evapotranspiración potencial estación Resina.

METODO DE ETP (mm/mes)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
FAO PENMAN-MONTEITH	85,2	84,6	83,4	81,3	76,9	75,2	73,9	80,0	86,6	84,9	77,4	78,4	967,9
BLANEY AND CRIDDLE	129,7	116,6	129,0	127,3	131,0	124,9	126,6	127,4	125,9	129,0	125,3	130,0	1522,6
THORNTHWAITE	62,2	61,2	61,1	61,3	66,5	57,5	54,0	55,1	59,1	61,1	61,8	62,7	723,6
CHISTIANSEN	143,9	125,5	131,3	125,7	124,3	127,7	123,6	140,2	146,2	138,5	117,5	130,1	1574,2
HARGREAVES	110,8	103,8	117,3	111,8	110,0	102,2	104,2	109,2	110,5	115,1	107,9	108,8	1311,8
EVAPOTRANSPIRACION TANQUE	57,4	52,2	52,9	50,1	47,8	44,0	48,9	51,9	55,7	55,2	49,6	50,1	615,8

La tabla 52 muestra la estimación de la evapotranspiración potencial en mm/mes, por cada una de las metodologías seleccionadas. La evapotranspiración potencial oscila entre de 44.0 mm/mes con la metodología del tanque tipo A en el mes de junio y un máximo de 146.2 mm/mes con la ecuación de Chistiansen para el mes de septiembre.

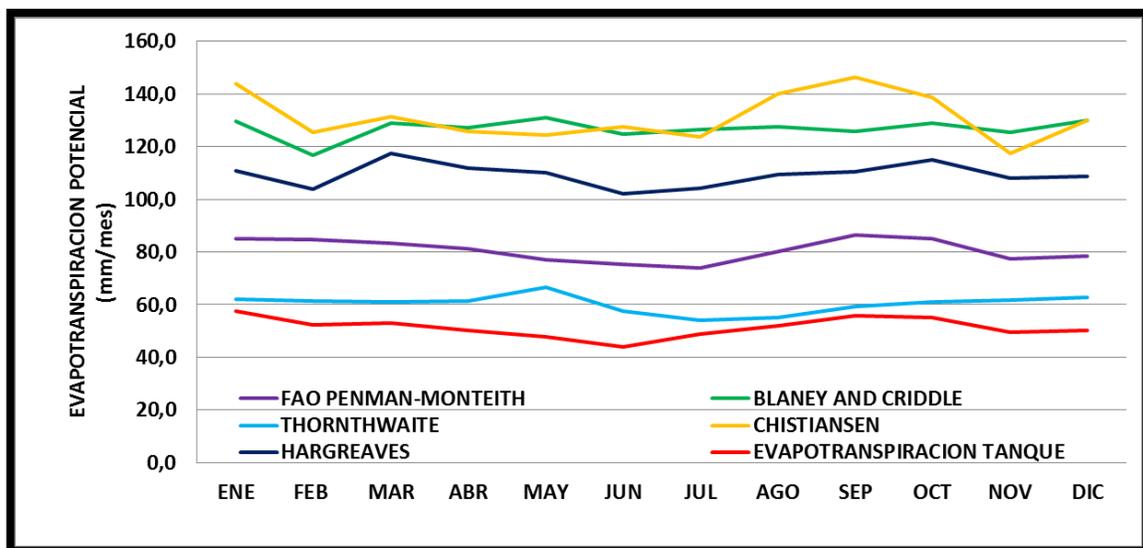


Figura 21. Grafica de la evapotranspiración potencial estación Resina.

Tabla 53. Cálculo del índice porcentual estación Resina

INDICE PORCENTUAL (%)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROMEDIO
FAO PENMAN-MONTEITH	48,3	62,0	57,5	62,5	60,7	71,0	51,3	54,3	55,4	53,9	56,1	56,5	57,2
BLANEY AND CRIDDLE	125,7	123,2	143,7	154,2	173,8	183,7	159,1	145,7	126,0	133,8	152,7	159,5	147,3
THORNTHWAITE	8,2	17,2	15,4	22,4	39,1	30,7	10,4	6,2	6,1	10,7	24,6	25,2	17,5
CHISTIANSEN	150,4	140,2	148,0	151,1	159,7	190,1	152,9	170,4	162,4	151,0	137,0	159,7	155,6
HARGREAVES	92,8	98,8	121,7	123,4	130,0	132,2	113,3	110,7	98,3	108,6	117,7	117,2	113,0

Como muestra la tabla 53 la ecuación de Thornthwaite presenta el índice porcentual más bajo, demostrando que para la estación RESINA-GUADALUPE es la ecuación con mayor ajuste con respecto a evapotranspiración estimada con la evaporación real con un índice porcentual promedio de 17.5%.

Tabla 54. Calculo del coeficiente de determinación R^2 estación Resina.

	COEFICIENTE R2
FAO PENMAN-MONTEITH	0,77
BLANEY AND CRIDDLE	0,01
THORNTHWAITE	0,01
CHISTIANSEN	0,54
HARGREAVES	0,34

La tabla 54 presenta los coeficientes de determinación (R^2), donde se observa que la fórmula de FAO Penman-Monteith presenta la relación más fuerte con un coeficiente de 0.77.

6.2.2.6. Resultados estación Zuluaga - Garzón

Tabla 55. Calculo de evapotranspiración potencial estación Zuluaga.

METODO DE ETP (mm/mes)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
FAO PENMAN-MONTEITH	85,3	87,2	81,4	78,0	73,3	70,6	73,7	78,9	84,4	83,9	76,7	75,3	948,7
BLANEY AND CRIDDLE	147,4	133,6	146,7	144,1	148,4	141,8	145,7	146,2	142,8	145,9	141,0	145,7	1729,4
THORNTHWAITE	79,6	80,8	78,2	77,1	83,7	72,1	70,6	71,5	74,4	76,5	76,1	76,0	916,6
CHISTIANSEN	130,6	122,0	111,0	99,2	97,3	94,9	106,7	117,0	121,2	122,9	103,9	104,3	1331,1
HARGREAVES	102,7	88,9	87,4	79,2	77,7	74,1	82,1	84,6	84,4	94,1	85,6	90,6	1031,4
EVAPOTRANSPIRACION TANQUE	65,7	63,0	54,2	58,3	67,4	59,7	60,0	59,7	64,2	67,5	64,1	57,9	741,8

En La tabla 55 se observa la estimación de la evapotranspiración potencial en mm/mes, por cada una de las metodologías seleccionadas. La evapotranspiración potencial por la metodología del tanque evaporímetro tipo A es la más baja con una evapotranspiración potencial anual de 741.8 mm/años.

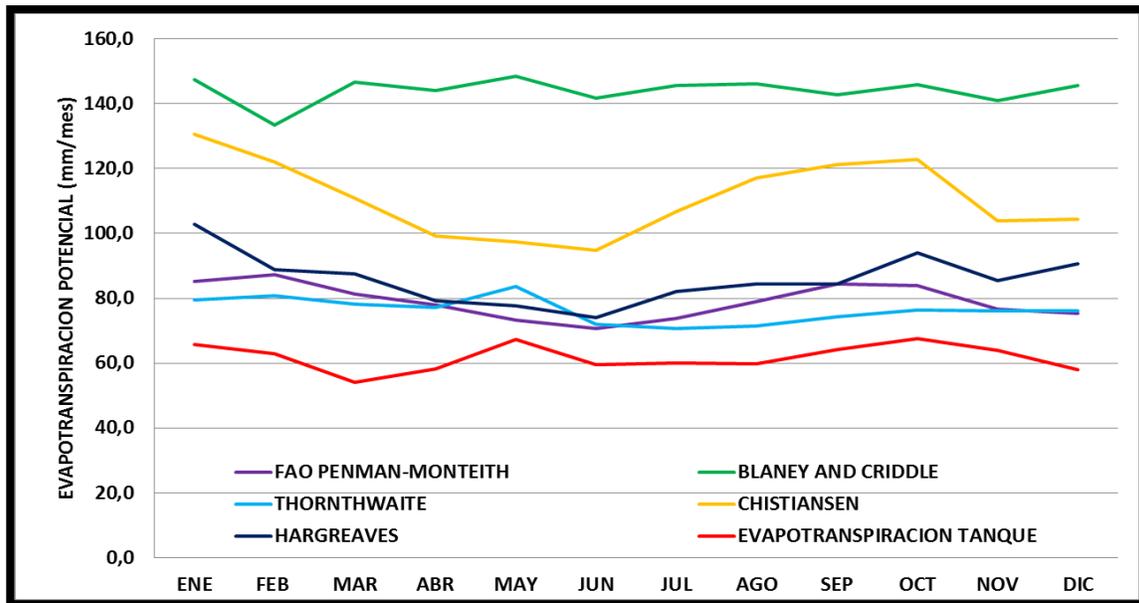


Figura 22. Grafica de la evapotranspiración estación Zuluaga.

Tabla 56. Cálculo del índice porcentual estación Zuluaga.

INDICE PORCENTUAL (%)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROMEDIO
FAO PENMAN-MONTEITH	29,8	38,5	50,2	33,7	8,8	18,3	22,7	32,1	31,3	24,3	19,7	30,0	27,9
BLANEY AND CRIDDLE	124,2	112,1	170,8	147,1	120,2	137,7	142,7	144,8	122,4	116,2	120,1	151,5	133,1
THORNTHWAITE	21,1	28,2	44,3	32,2	24,2	20,9	17,6	19,8	15,8	13,3	18,7	31,3	23,6
CHISTIANSSEN	98,7	93,7	104,9	70,1	44,4	59,1	77,7	95,8	88,8	82,1	62,2	80,1	79,5
HARGREAVES	56,3	41,2	61,4	35,8	15,3	24,1	36,7	41,5	31,3	39,4	33,6	56,4	39,0

Como se observa en la tabla 56 la ecuación de Thornthwaite presenta el índice porcentual más bajo, demostrando que para la estación ZULUAGA-GARZON es la ecuación con mayor ajuste con respecto a evapotranspiración estimada con la evaporación real con un índice porcentual promedio anual de 23.6%

Tabla 57. Calculo del coeficiente de determinación R2 estación Zuluaga.

	COEFICIENTE R2
FAO PENMAN-MONTEITH	0,07
BLANEY AND CRIDDLE	0,00
THORNTHWAITE	0,15
CHISTIANSSEN	0,12
HARGREAVES	0,07

En La tabla 57 presenta los coeficientes de determinación (R^2), donde se observa que no existe una relación entre la evapotranspiración real y la evapotranspiración estimada con las formulas seleccionadas.

6.2.2.7. Resultados estación La Legiosa - Colombia

Tabla 58. Calculo de evapotranspiración potencial estación La Legiosa.

METODO DE ETP (mm/mes)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
FAO PENMAN-MONTEITH	99,0	101,8	88,5	84,8	80,4	74,7	75,4	89,3	100,0	105,1	83,5	93,0	1075,4
BLANEY AND CRIDDLE	142,9	129,1	142,4	141,1	144,1	136,5	139,3	142,5	140,3	141,5	137,2	141,2	1678,2
THORNTHWAITE	74,5	74,6	73,6	72,0	75,6	63,4	60,4	65,9	70,4	71,9	72,3	71,2	845,9
CHISTIANSSEN	185,9	177,6	152,1	137,1	131,2	113,1	119,9	155,4	181,0	193,2	142,4	172,5	1861,4
HARGREAVES	119,6	113,3	128,9	123,8	121,5	111,9	115,2	122,1	121,7	125,1	116,5	116,3	1435,9
EVAPOTRANSPIRACION TANQUE	70,3	60,8	60,4	51,5	49,7	40,9	42,7	56,5	67,4	65,0	54,5	55,6	675,5

La tabla 58 presenta los resultados de la estimación de la evapotranspiración potencial en mm/mes, por cada una de las metodologías seleccionadas. Se observa que el método de Chistiansen es quien estima la evapotranspiración más alta con una evapotranspiración anual de 1861.4 mm/año.

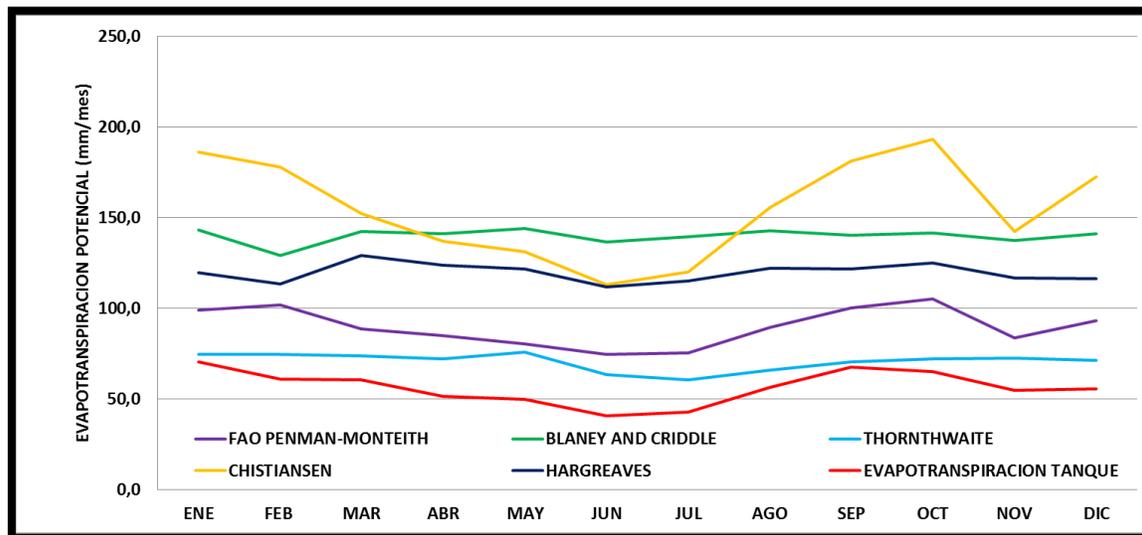


Figura 23. Grafica de la evapotranspiración potencial estación La Legiosa.

Tabla 59. Cálculo del índice porcentual estación La Legiosa.

INDICE PORCENTUAL (%)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROMEDIO
FAO PENMAN-MONTEITH	40,8	67,4	46,4	64,7	61,7	82,7	76,4	58,0	48,2	61,6	53,2	67,3	59,2
BLANEY AND CRIDDLE	103,2	112,4	135,7	174,1	189,6	234,0	225,9	152,2	107,9	117,7	151,6	154,1	148,4
THORNTHWAITE	5,9	22,7	21,8	39,9	52,1	55,1	41,3	16,7	4,3	10,5	32,6	28,2	25,2
CHISTIANSSEN	164,4	192,1	151,7	166,2	163,8	176,8	180,4	175,0	168,3	197,1	161,2	210,4	175,6
HARGREAVES	70,1	86,4	113,3	140,5	144,3	173,7	169,4	116,1	80,5	92,4	113,6	109,2	112,6

Como se observa en la tabla 59 la ecuación de Thornthwaite presenta el índice porcentual más bajo, demostrando que para la estación LA LEGIOSA es la ecuación más ajustada a la evapotranspiración con un índice promedio de 25.2%.

Tabla 60. Calculo del coeficiente de determinación R2 estación La Legiosa.

	COEFICIENTE R2
FAO PENMAN-MONTEITH	0,83
BLANEY AND CRIDDLE	0,02
THORNTHWAITE	0,38
CHISTIANSSEN	0,86
HARGREAVES	0,21

La tabla 60 presenta los coeficientes de determinación (R^2), donde se observa que la fórmula de Chistiansen y FAO Penman-Monteith presenta una relación fuerte con un 0.86 y 0.83 respectivamente.

6.2.2.8. Resultados estación El Grifo Altamira - Altamira

Tabla 61. Calculo de evapotranspiración potencial estación El Grifo Altamira.

METODO DE ETP (mm/mes)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
FAO PENMAN-MONTEITH	103,8	103,7	97,1	96,3	91,2	87,9	90,2	100,3	105,3	100,5	92,0	93,9	1162,2
BLANEY AND CRIDDLE	150,2	135,9	148,2	145,3	148,5	141,7	145,9	147,3	144,7	147,8	142,6	147,3	1745,6
THORNTHWAITE	85,0	85,4	80,3	78,7	82,7	70,8	69,8	72,6	77,4	79,5	78,4	78,4	939,0
CHISTIANSEN	202,2	180,7	169,1	166,0	162,5	154,7	163,2	188,8	190,3	184,3	161,2	176,3	2099,4
HARGREAVES	128,1	120,8	134,6	127,5	124,6	115,9	119,9	126,2	126,8	131,7	122,7	123,1	1501,9
EVAPOTRANSPIRACION TANQUE	73,0	64,8	75,0	64,8	68,0	77,9	71,1	66,1	77,2	75,6	63,7	67,8	845,0

La tabla 61 presenta los resultados de la estimación de la evapotranspiración potencial en mm/mes, por cada una de las metodologías seleccionadas. Se observa que el método de FAO Penman-Monteith presenta una evapotranspiración potencial de 1162 mm/año, con un mínimo de 87.9 mm/mes en el mes de junio y máximo de 103.8 mm/mes para enero.

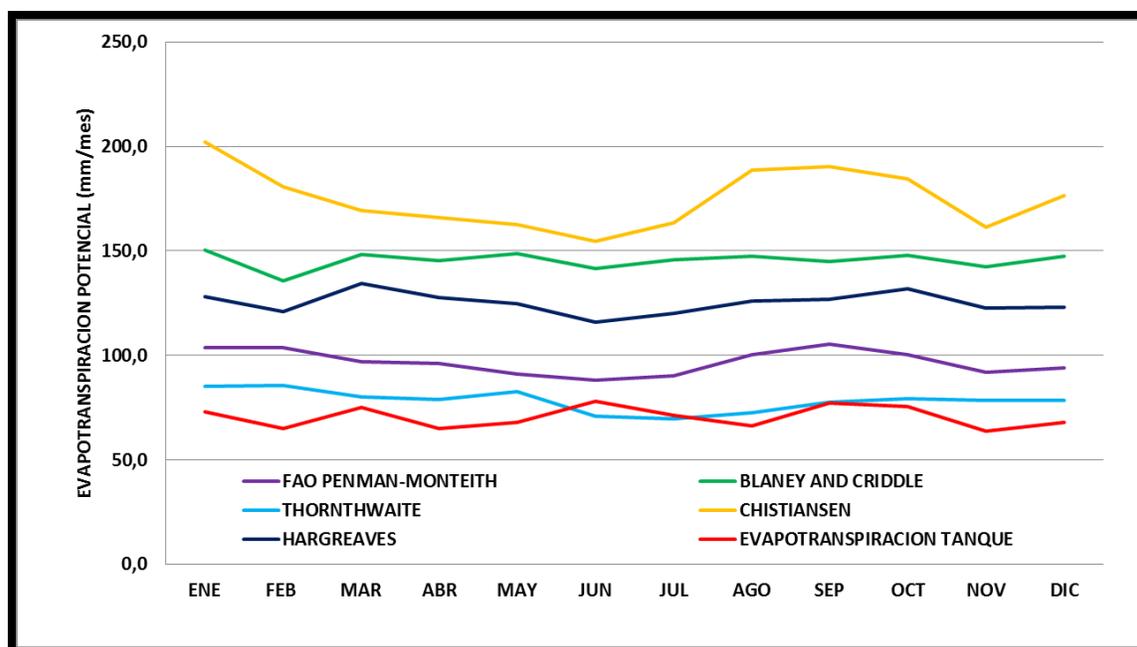


Figura 24. Grafica de la evapotranspiración potencial estación El Grifo Altamira.

Tabla 62. Cálculo del índice porcentual estación El Grifo Altamira.

INDICE PORCENTUAL (%)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROMEDIO
FAO PENMAN-MONTEITH	42,2	60,1	29,4	48,7	34,1	12,9	26,8	51,8	36,4	32,9	44,5	38,5	37,5
BLANEY AND CRIDDLE	105,8	109,7	97,5	124,5	118,3	82,0	105,1	122,9	87,6	95,4	123,8	117,3	106,6
THORNTHWAITE	16,5	31,9	7,0	21,5	21,5	9,1	1,9	9,9	0,3	5,1	23,1	15,7	11,1
CHISTIENSEN	176,9	178,9	125,4	156,3	138,8	98,7	129,5	185,7	146,7	143,7	153,2	160,0	148,5
HARGREAVES	75,5	86,5	79,4	97,0	83,1	48,8	68,6	90,9	64,4	74,1	92,6	81,6	77,7

Como muestra la tabla 62 la ecuación de Thornthwaite presenta el índice porcentual más bajo, demostrando que para la estación EL GRIFO ALTAMIRA - ALTAMIRA es la ecuación más ajustada a la evapotranspiración real con un índice porcentual promedio de 11.1%.

Tabla 63. Calculo del coeficiente de determinación R2 estación El Grifo Altamira.

	COEFICIENTE R2
FAO PENMAN-MONTEITH	0,01
BLANEY AND CRIDDLE	0,07
THORNTHWAITE	0,05
CHISTIENSEN	0,02
HARGREAVES	0,03

La tabla 63 presenta los coeficientes de determinación (R^2), donde se observa que ninguna fórmula presenta alguna relación con la evapotranspiración potencial estimada con la evaporación real.

6.2.2.9. Resultados Estación Algeciras - Algeciras

Tabla 64. Calculo de evapotranspiración potencial estación Algeciras.

METODO DE ETP (mm/mes)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
FAO PENMAN-MONTEITH	95,9	98,8	95,0	89,0	88,1	90,4	101,8	114,4	109,6	98,2	85,1	86,4	1152,8
BLANEY AND CRIDDLE	157,0	142,7	157,1	153,9	159,2	152,6	158,5	160,6	155,0	156,7	149,5	155,7	1858,3
THORNTHWAITE	95,7	98,7	96,0	93,2	103,2	89,6	91,7	97,7	96,5	94,8	88,6	91,9	1137,5
CHISTIANSEN	172,1	161,7	162,5	144,3	154,6	158,9	184,4	208,3	191,2	169,3	135,7	149,3	1992,4
HARGREAVES	131,0	124,9	141,9	136,4	135,7	126,2	132,3	138,9	135,8	138,1	126,6	127,9	1595,6
EVAPOTRANSPIRACION TANQUE	75,7	71,4	73,2	68,9	66,4	66,9	74,1	78,7	76,8	71,7	65,1	74,0	862,8

La tabla 64 muestra la estimación de la evapotranspiración potencial en mm/mes, por cada una de las metodologías seleccionadas. La evapotranspiración potencial oscila entre de 65.1 mm/mes con el método del tanque evaporímetro tipo A en el mes de noviembre y un máximo de 208.3 mm/mes con el método de Christiansen para el mes de agosto.

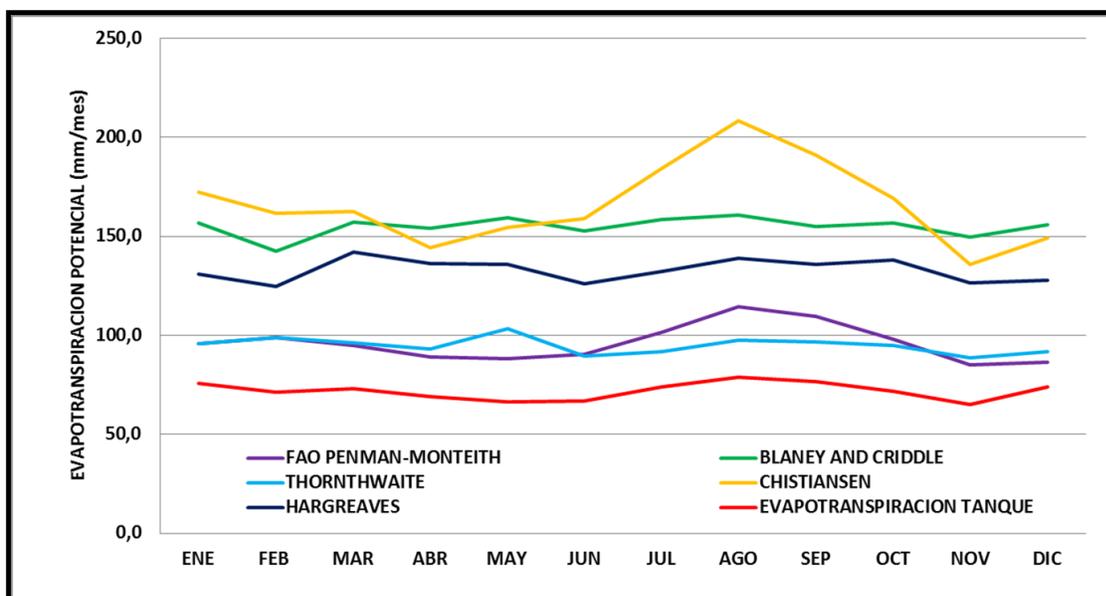


Figura 25. Grafica de la evapotranspiración potencial estación Algeciras.

Tabla 65. Cálculo del índice porcentual Estación Algeciras.

INDICE PORCENTUAL (%)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROMEDIO
FAO PENMAN-MONTEITH	26,8	38,4	29,8	29,2	32,7	35,3	37,4	45,3	42,7	37,0	30,7	16,9	33,6
BLANEY AND CRIDDLE	107,4	99,9	114,6	123,4	139,9	128,3	114,0	103,9	101,8	118,5	129,5	110,4	115,4
THORNTHWAITE	26,4	38,2	31,2	35,3	55,4	34,0	23,8	24,1	25,6	32,2	36,0	24,2	31,8
CHISTIENSEN	127,4	126,5	122,0	109,6	133,0	137,7	148,9	164,5	149,0	136,2	108,4	101,8	130,9
HARGREAVES	73,1	75,0	93,9	98,1	104,5	88,8	78,7	76,4	76,7	92,6	94,3	72,9	84,9

Como se puede observar en la tabla 65 la ecuación de Thornthwaite presenta el índice porcentual más bajo, demostrando que para la estación ALGECIRAS es la ecuación con mayor ajuste con respecto a evapotranspiración estimada con la evaporación real con un índice porcentual promedio de 31,8%.

Tabla 66. Calculo del coeficiente de determinación R2 estación Algeciras.

	COEFICIENTE R2
FAO PENMAN-MONTEITH	0,64
BLANEY AND CRIDDLE	0,16
THORNTHWAITE	0,05
CHISTIENSEN	0,67
HARGREAVES	0,14

La tabla 66 presenta los coeficientes de determinación (R^2), donde se observa que la fórmula de Christiasen y FAO Penman-Monteith presentan relaciones moderas con un coeficiente de 0.67 y 0.64 respectivamente.

6.2.2.10. Resultados estación Cueva Los Guacharos- Acevedo

Tabla 67. Calculo de evapotranspiración potencial estación Cueva Los Guacharos.

METODO DE ETP (mm/mes)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
FAO PENMAN-MONTEITH	81,2	81,9	76,5	73,3	71,7	64,6	66,0	71,7	76,1	77,0	73,1	72,6	885,8
BLANEY AND CRIDDLE	129,4	117,6	131,3	128,0	131,7	124,7	126,4	137,5	116,7	121,2	117,9	121,4	1503,8
THORNTHWAITE	62,7	63,9	65,7	64,9	70,4	59,6	55,9	73,2	47,5	50,3	51,3	50,6	716,1
CHISTIANSEN	132,7	122,3	115,5	105,9	112,4	98,3	103,9	130,2	108,1	106,9	98,7	105,2	1340,2
HARGREAVES	111,2	105,1	119,6	113,2	110,9	102,1	104,3	118,3	103,2	108,4	102,2	102,4	1301,0
EVAPOTRANSPIRACION TANQUE	40,7	41,1	39,8	38,5	38,5	32,7	35,8	37,7	39,6	40,8	34,9	37,9	458,0

La tabla 67 muestra la estimación de la evapotranspiración potencial en mm/mes, por cada una de las metodologías seleccionadas. La evapotranspiración potencial estimada con la base en la evaporación real oscila entre 32.7 mm/mes para el mes de junio y 40.8 mm/mes para octubre.

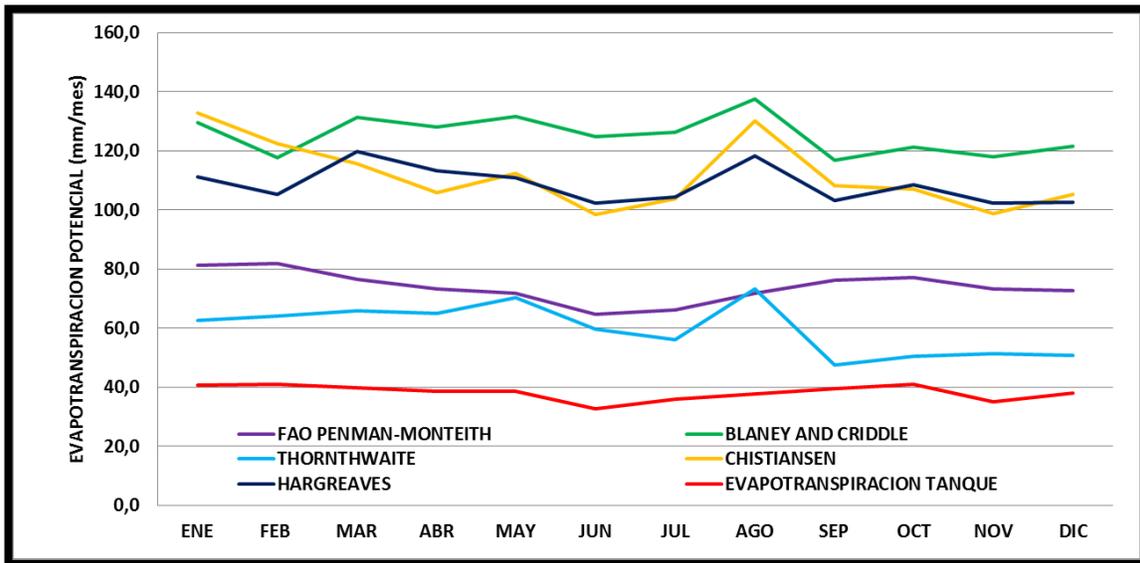


Figura 26. Grafica de la evapotranspiración potencial estación Cueva Los Guacharos.

Tabla 68. Cálculo del índice porcentual estación Cueva Los Guacharos

INDICE PORCENTUAL (%)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROMEDIO
FAO PENMAN-MONTEITH	99,6	99,5	92,2	90,1	86,2	97,9	84,2	89,9	92,3	88,8	109,4	91,8	93,4
BLANEY AND CRIDDLE	218,2	186,4	229,8	232,2	241,8	281,8	252,9	264,4	194,8	197,1	237,7	220,5	228,3
THORNTHWAITE	54,1	55,7	65,0	68,5	82,6	82,6	56,1	94,0	20,1	23,4	46,9	33,6	56,4
CHISTIANSEN	226,3	197,7	190,1	174,7	191,8	200,8	190,0	245,1	173,3	162,1	182,7	177,9	192,6
HARGREAVES	173,4	156,0	200,4	193,8	187,8	212,6	191,2	213,5	160,7	165,6	192,7	170,5	184,1

Como muestra la tabla 68 la ecuación de Thornthwaite presenta el índice porcentual más bajo, demostrando que para la estación CUEVA LOS GUACHAROS - ACEVEDO es la ecuación con mayor ajuste con respecto a evapotranspiración estimada con la evaporación real con un índice porcentual promedio de 56.4%.

Tabla 69. Calculo del coeficiente de determinación R^2 Estación Cueva los Guacharos.

	COEFICIENTE R2
FAO PENMAN-MONTEITH	0,77
BLANEY AND CRIDDLE	0,00
THORNTHWAITE	0,01
CHISTIANSEN	0,38
HARGREAVES	0,17

La tabla 69 presenta los coeficientes de determinación (R^2), donde se observa que la fórmula de FAO Penman-Monteith presenta una relación fuerte con un coeficiente de 0.77.

6.2.2.11. Resultados estación Palacio-Vegalarga - Neiva

Tabla 70. Calculo de evapotranspiración potencial estación Palacio-Vegalarga.

METODO DE ETP (mm/mes)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
FAO PENMAN-MONTEITH	89,2	91,2	87,1	84,5	83,5	85,2	91,2	102,7	97,9	88,1	77,7	76,8	1055,2
BLANEY AND CRIDDLE	154,5	140,0	153,5	150,9	156,6	151,7	157,5	159,4	154,1	154,4	147,2	152,4	1832,1
THORNTHWAITE	90,3	91,8	87,6	86,5	97,0	88,6	90,7	95,9	95,3	90,1	84,1	84,6	1082,4
CHISTIANSSEN	143,2	134,4	125,6	118,0	130,9	144,2	165,7	195,3	166,4	137,5	102,8	107,2	1671,2
HARGREAVES	129,7	123,2	138,9	133,4	132,9	125,2	131,0	137,6	135,0	136,6	125,3	125,7	1574,6
EVAPOTRANSPIRACION TANQUE	94,8	84,5	82,3	70,1	74,6	80,0	89,5	96,0	99,9	90,3	63,8	64,2	990,0

En La tabla 70 se observa la estimación de la evapotranspiración potencial en mm/mes, por cada una de las metodologías seleccionadas. La evapotranspiración potencial oscila entre 63.8 mm/mes con el método del tanque evaporímetro tipo A en el mes de noviembre y 195.3 mm/mes con el método de Chistiansen para el mes de Agosto.

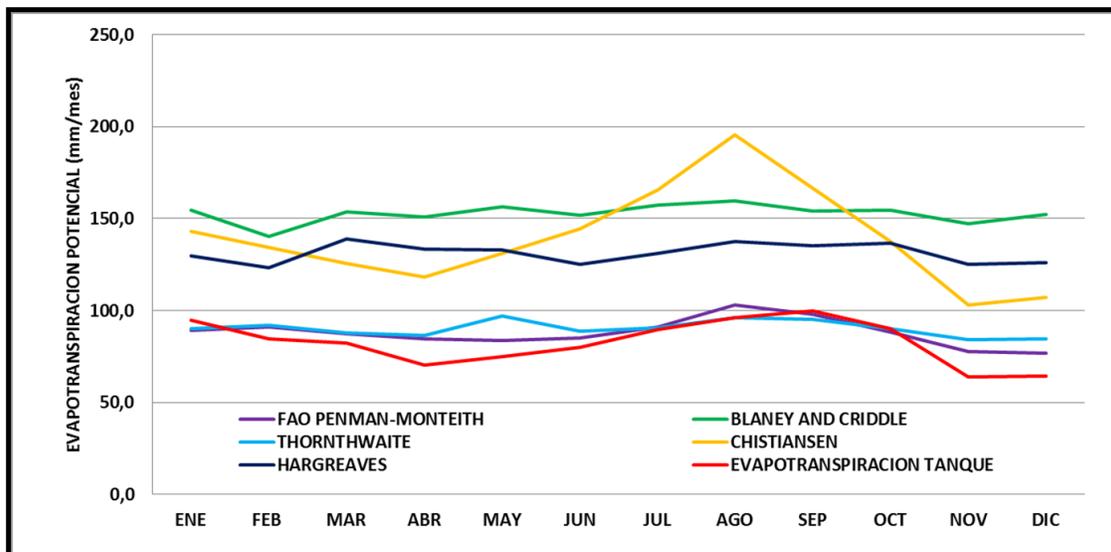


Figura 27. Grafica de la evapotranspiración potencial estación Palacio-Vegalarga.

Tabla 71. Cálculo del índice porcentual estación Palacio-Vegalarga

INDICE PORCENTUAL (%)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROMEDIO
FAO PENMAN-MONTEITH	5,9	7,9	5,8	20,6	11,9	6,5	1,9	7,0	2,0	2,4	21,8	19,6	6,6
BLANEY AND CRIDDLE	62,9	65,7	86,5	115,4	109,7	89,6	76,0	66,0	54,2	71,1	130,6	137,3	85,1
THORNTHWAITE	4,8	8,6	6,5	23,4	29,9	10,8	1,3	0,1	4,6	0,2	31,7	31,8	9,3
CHISTIANSEN	51,0	59,1	52,7	68,4	75,3	80,2	85,2	103,4	66,6	52,3	61,0	67,0	68,8
HARGREAVES	36,8	45,8	68,8	90,5	78,1	56,4	46,4	43,4	35,1	51,3	96,2	95,9	59,0

Como se observa en la tabla 71 la ecuación de FAO Penman-Monteit presenta el índice porcentual más bajo, demostrando que para la estación PALACIO VEGALARGA-NEIVA es la ecuación con mayor ajuste con respecto a evapotranspiración estimada con la evaporación real con un índice porcentual promedio anual de 6.6%.

Tabla 72. Calculo del coeficiente de determinación R2 estación Palacio-Vegalarga.

	COEFICIENTE R2
FAO PENMAN-MONTEITH	0,80
BLANEY AND CRIDDLE	0,14
THORNTHWAITE	0,45
CHISTIANSEN	0,72
HARGREAVES	0,22

La tabla 72 presenta los coeficientes de determinación (R^2), donde se observa que la fórmula de FAO Penman-Monteith con un coeficiente de 0.80 presenta una relación fuerte y casi perfecta como lo señala la tabla 6 (Sargos y Macías, 2005).

6.2.3. Zona climática C (climas medios y húmedos, traicionales a frio húmedo)

6.2.3.1. Resultados estación Parque Arqueológico - San Agustín

Tabla 73. Calculo de evapotranspiración potencial estación Parque Arqueológico.

METODO DE ETP (mm/mes)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
FAO PENMAN-MONTEITH	98,8	99,1	93,5	91,5	84,9	78,3	80,1	86,0	95,6	97,0	92,4	91,6	1088,9
BLANEY AND CRIDDLE	141,2	127,7	140,4	136,9	140,4	133,4	136,5	136,7	134,9	139,8	135,5	139,8	1643,2
THORNTHWAITE	72,5	73,0	71,1	70,2	75,0	63,7	61,4	61,8	66,5	70,0	70,5	70,0	825,7
CHISTIANSEN	192,0	173,4	163,1	155,4	146,7	129,1	136,8	150,0	171,2	180,7	168,7	173,3	1940,3
HARGREAVES	120,5	113,7	127,6	121,1	118,7	109,9	113,1	118,0	119,2	124,6	116,7	116,9	1419,8
EVAPOTRANSPIRACION TANQUE	69,3	65,6	63,5	57,4	52,8	46,0	50,3	55,7	63,0	67,5	63,1	60,7	714,8

La tabla 73 muestra la estimación de la evapotranspiración potencial en mm/mes, por cada una de las metodologías seleccionadas. La evapotranspiración potencial oscila entre de 46.0 mm/mes con la evapotranspiración del tanque tipo A en el mes de junio y un máximo de 192.0 mm/mes con el método de Christiansen para el mes de enero.

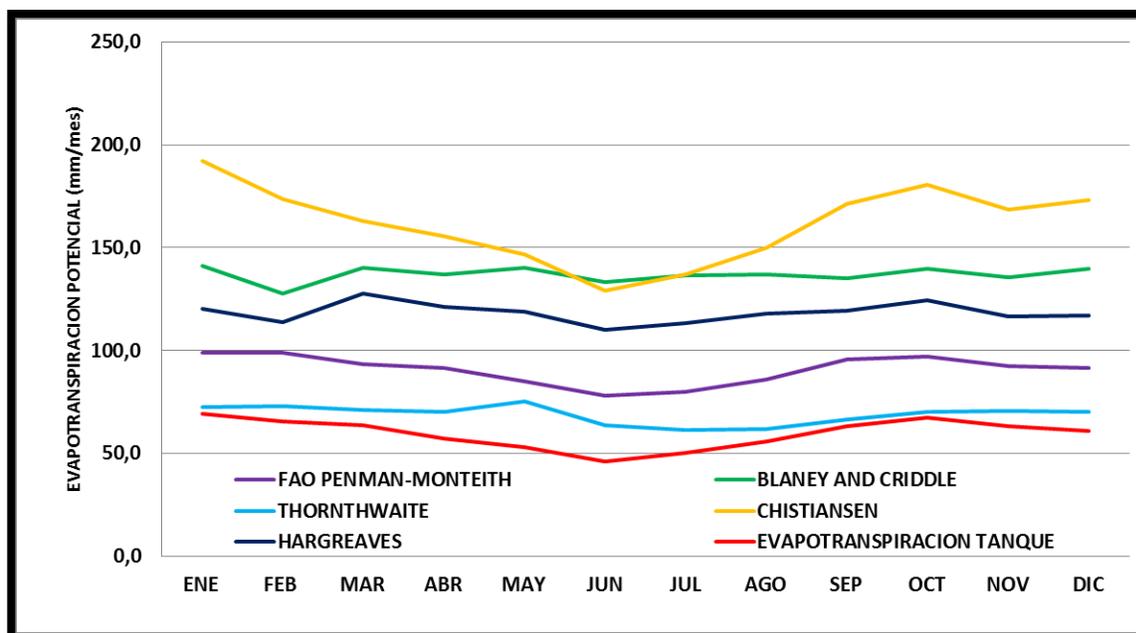


Figura 28. Evapotranspiración potencial estación Parque Arqueológico.

Tabla 74. Cálculo del índice porcentual estación Parque Arqueológico.

INDICE PORCENTUAL (%)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROMEDIO
FAO PENMAN-MONTEITH	42,6	51,2	47,4	59,4	60,8	70,0	59,2	54,5	51,7	43,8	46,5	51,0	52,3
BLANEY AND CRIDDLE	103,8	94,8	121,3	138,5	165,8	189,7	171,3	145,6	114,1	107,2	114,9	130,3	129,9
THORNTHWAITE	4,7	11,4	12,1	22,3	42,1	38,3	22,0	10,9	5,5	3,8	11,7	15,3	15,5
CHISTIANSEN	177,1	164,5	157,1	170,7	177,8	180,5	171,8	169,3	171,6	167,8	167,5	185,6	171,5
HARGREAVES	73,9	73,3	101,1	111,0	124,8	138,7	124,7	112,0	89,1	84,7	85,0	92,6	98,6

En la tabla 74 muestra que La ecuación de Thornthwaite presenta el índice porcentual más bajo, demostrando que para la estación STA MARIA es la ecuación más ajustada con un índice porcentual promedio de 15.5 %.

Tabla 75. Calculo del coeficiente de determinación R2 estación Parque Arqueológico.

	COEFICIENTE R2
FAO PENMAN-MONTEITH	0,95
BLANEY AND CRIDDLE	0,02
THORNTHWAITE	0,32
CHISTIANSEN	0,94
HARGREAVES	0,35

La tabla 75 presenta los coeficientes de determinación (R^2), donde se observa que la fórmula de FAO Penman-Monteith y Chistiansen con un coeficiente de 0.95 y 0.94 respectivamente presenta una relación fuerte y casi perfecta.

7. ANALISIS DE RESULTADOS

7.1. ZONA A (CLIMAS CÁLIDOS, TRANSICIONALES A CÁLIDO SECO Y MUY SECO)

La tabla 76 presenta los resultados del índice porcentual para la zona “A”, la cual muestra cada estación y la fórmula empírica que obtuvo el menor índice porcentual.

N°	MUNICIPIO	ESTACIÓN	FORMULA EMPIRICA ETP	PROMEDIO INDICE PORCENTUAL (%)	CLIMA
1	VILLAVIEJA	SAN ALFONSO	Fao Penman-Monteith	16.9	A
2	VILLAVIEJA	BOCA LA	Fao Penman-Monteith	12.4	A
4	TERUEL	SAN RAFAEL	Fao Penman-Monteith	0.4	A
8	PALERMO	JUNCAL EL	Fao Penman-Monteith	17.8	A
16	CAMPOALEGRE	ROSALES LOS	Fao Penman-Monteith	0.4	A
17	BARAYA	MANILA LA HDA	Fao Penman-Monteith	14.3	A
3	VILLAVIEJA	SAN JOSE	Hargreaves	16.8	A
15	CAMPOALEGRE	HIDROBETANIA	Hargreaves	10.5	A
22	NEIVA	APTO BENITO SALAS	Hargreaves	8.0	A
11	IQUIRA	IQUIRA	thornthwaite	3.7	A

Tabla 76. Formulas empíricas que obtuvieron el menor índice porcentual para la zona A.

Al realizar el análisis del índice porcentual de cada uno de las estaciones, se observa que en la zona “A” (Climas cálidos, transicionales a cálido seco y muy seco) la fórmula de Fao Penman-Monteith muestra las estimaciones más ajustadas en seis (6) de las diez (10) estaciones que hacen parte de esta zona climática. Se infiere que el método FAO Penman-Monteith por utilizar una gran cantidad de variables obtiene estimaciones de evapotranspiración muy cercanas a las reales, así mismo lo soporta el estudio presentado por la *FAO, (2006)* donde cita lo siguiente: “Dado el mejor comportamiento y consistencia del método Fao Penman-Monteith en el ámbito global, este es el único que se recomienda como método estándar de cálculo. Esto se debe a que existe una elevada probabilidad de que este método prediga correctamente los valores de evapotranspiración potencial en una amplia gama geográfica y climática”.

Los resultados permiten identificar el orden de importancia de cada uno de los métodos empleados, por lo tanto el método de Hargreaves se encuentra en segundo lugar de importancia para la zona climática “A”, ya que en tres (3) de las diez (10) estaciones que hacen parte de este clima obtiene el menor índice

porcentual, Seguido de la fórmula de Thornthwaite la cual ocupa el tercer lugar mostrando ser la formula con el menor índice porcentual en la estación IQUIRA.

La tabla 77 presentan los resultados del coeficiente de determinación para la zona “A”, en la cual se evidencia cada estación y el nombre de la fórmula que obtuvo el mayor coeficiente de determinación.

N°	MUNICIPIO	ESTACIÓN	METODO	COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN (R ²)	CLIMA
1	VILLAVIEJA	SAN ALFONSO	Chistiansen	0.93	A
2	VILLAVIEJA	BOCA LA	Chistiansen	0.80	A
4	TERUEL	SAN RAFAEL	Chistiansen	0.89	A
11	IQUIRA	IQUIRA	Chistiansen	0.92	A
15	CAMPOALEGRE	HIDROBETANIA	Chistiansen	0.94	A
16	CAMPOALEGRE	ROSALES LOS	Chistiansen	0.98	A
17	BARAYA	MANILA LA HDA	Chistiansen	0.85	A
22	NEIVA	APTO BENITO SALAS	Chistiansen	0.97	A
3	VILLAVIEJA	SAN JOSE	thornthwaite	0.83	A
8	PALERMO	JUNCAL EL	Fao Penman-Monteith	0.90	A

Tabla 77. Formulas empíricas que obtuvieron el mayor coeficiente de determinación (R²) para la zona climática A.

Como se puede observar la fórmula de Christiansen muestra ser la metodología con mayor relación para zona climática “A” (climas cálidos, transicionales a cálido seco y muy seco), pues así lo evidencia en ocho (8) de diez (10) estaciones, sin embargo la fórmula de cristiansen tiende a sobreestimar la evapotranspiración potencial. Siguiendo el orden de importancia Las fórmulas de Thornthwaite y Fao Penman-Monteith comparten la segunda posición como los métodos con mayor relación ya que en las estaciones SAN JOSE y EL JUNCAL tienen los coeficientes de determinación más altos respectivamente.

7.2. ZONA B (CLIMAS MEDIOS Y HÚMEDOS)

En la tabla 78 se presenta los resultados del índice porcentual para la zona “B”, la cual muestra cada estación y formula empírica que obtuvo el menor índice porcentual.

N°	MUNICIPIO	ESTACIÓN	FORMULA EMPIRICA ETP	PROMEDIO INDICE PORCENTUAL (%)	CLIMA
9	LA PLATA	ESC AGR LA PLATA	Fao Penman-Monteith	13.4	B
21	NEIVA	PALACIO-VEGALARGA	Fao Penman-Monteith	6.6	B
5	SANTA MARIA	STA MARIA	Thornthwaite	1.7	B
7	PITALITO	SEVILLA	Thornthwaite	10.3	B
10	IQUIRA	TERPEYA COLOMBIA	Thornthwaite	0,8	B
12	GUADALUPE	RESINA	Thornthwaite	17.5	B
13	GARZON	ZULUAGA	Thornthwaite	23.6	B
14	COLOMBIA	LEGIOSA LA	Thornthwaite	25.2	B
18	ALTAMIRA	ALTAMIRA EL GRIFO	Thornthwaite	11.1	B
19	ALGECIRAS	ALGECIRAS	Thornthwaite	31.8	B
20	ACEVEDO	CUEVA LOS GUACHARO	Thornthwaite	56.4	B

Tabla 78. Formulas empíricas Que obtuvieron el menor índice porcentual para la zona B.

Como se observa la fórmula de Thornthwaite presenta un excelente desempeño para los climas medios y húmedos, evidenciando el menor índice porcentual en el 82% de las estaciones que hace referencia a nueve (9) de las once (11) estaciones y la formula Fao Penman-Monteith evidencia los menores índices porcentuales en dos (2) estaciones equivalente al 18% de las estaciones de este clima.

N°	MUNICIPIO	ESTACIÓN	METODO	COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN (R ²)	CLIMA
5	SANTA MARIA	STA MARIA	Chistiansen	0.87	B
7	PITALITO	SEVILLA	Chistiansen	0.91	B
9	LA PLATA	ESC AGR LA PLATA	Chistiansen	0.88	B
10	IQUIRA	TERPEYA COLOMBIA	Chistiansen	0.85	B
14	COLOMBIA	LEGIOSA LA	Chistiansen	0.86	B
19	ALGECIRAS	ALGECIRAS	Chistiansen	0.67	B
12	GUADALUPE	RESINA	Fao Penman-Monteith	0.77	B
20	ACEVEDO	CUEVA LOS GUACHARO	Fao Penman-Monteith	0.77	B
21	NEIVA	PALACIO-VEGALARGA	Fao Penman-Monteith	0.80	B
13	GARZON	ZULUAGA	Thornthwaite	0.15	B
18	ALTAMIRA	ALTAMIRA EL GRIFO	Blaney and Criddle	0.07	B

Tabla 79. Formulas empíricas que obtuvieron el mayor coeficiente de determinación (R²) para la zona climática B.

Como se observa en la tabla 79 Para la zona climática “B” (climas medios y húmedos) la fórmula de Chistiansen se presenta como el método con mayor relación ya que en seis (6) de las once (11) estaciones presenta el mayor índice de determinación, sin embargo la ecuación de Chistiansen al igual que en el clima “A” tiende a sobreestimar la evapotranspiración potencial. Siguiendo un orden de importancia la fórmula de Fao Penman-Monteith posee los coeficiente más alto en tres (3) de las once (11) estaciones de este clima y finalmente la fórmula de Thornthwaite y Blaney and Criddle presentan la mayor relación en las estaciones ZULUAGA y ALTAMIRA EL GRIFO respectivamente.

7.3. ZONA C (CLIMAS MEDIOS Y HÚMEDOS, TRASICIONALES A FRIO HÚMEDO)

La tabla 80 muestra los resultados del índice porcentual para la zona climática “C”, la cual muestra cada estación y la formula empírica que obtuvo el menor índice porcentual.

N°	MUNICIPIO	ESTACIÓN	FORMULA EMPIRICA ETP	PROMEDIO INDICE PORCENTUAL (%)	CLIMA
6	SAN AGUSTIN	PARQUE ARQUEOLOGIC	Thornthwaite	15.5	C

Tabla 80. Formulas empíricas Que obtuvieron el menor índice porcentual para la zona C.

La estación PARQUE ARQUEOLOGICO en el Municipio de San Agustín es la única estación en el clima “C” (climas medios y húmedos, tradicionales a frio húmedo) en donde el menor índice porcentual lo mostro la fórmula de Thornthwaite con un 15.5 %.

N°	MUNICIPIO	ESTACIÓN	METODO	COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN (R ²)	CLIMA
6	SAN AGUSTIN	PARQUE ARQUEOLOGIC	Fao Penman-Monteith	0.95	C

Tabla 81. Formulas empíricas que obtuvieron el mayor coeficiente de determinación (R²) para la zona climática C.

En el clima C (climas medios y húmedos, transicionales a frio húmedo) la fórmula de FAO-Penman-Monteith con 0.95 de coeficiente de determinación R^2 muestra según Sagarón, N. & Macías, M. (2005) una relación fuerte y perfecta.

7.4. COMPARACIÓN EN MÓDULOS DE RIEGO Y CAUDALES DE DISEÑO UTILIZANDO LA ECUACIÓN DE EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL SELECCIONADA.

Para realizar la comparación en módulos de riego y caudal de diseño Se toman los estudios y diseños del distrito de riego San Antonio Bajo-Ventanas el cual utiliza los registros climatológicos de la estación San Alfonso en el municipio de Villavieja y calcula la evapotranspiración potencial con la fórmula de Thornthwaite. En el proyecto se utilizó un módulo de riego de 0.4 lts/s-ha para un jornada de 24 horas y un caudal requerido de 236 lps para beneficiar una área de 533,3 ha, como se puede observar en la tabla resumen 82.

CULTIVOS	AREA BENEFICIADAS DEL RIEGO AIPE (ha)	MODULOS DE RIEGO CON DIFERENTES JORNADAS DE RIEGO (lt/s-ha)			CAUDAL REQUERIDO DEL RIO AIPE (lt/s)		
		Jr = 24 horas	Jr = 18 horas	Jr = 12 horas	Jr = 24 horas	Jr = 18 horas	Jr = 12 horas
PASTOS	530	0,4	0,6	0,9	234,5	312,7	469,1
FRUTALES	3,3	0,4	0,6	0,9	1,5	1,9	2,8
TOTAL	533,3				236	314,6	471,9

Tabla 82. Resumen demanda de agua distrito de riego de mediana escala San Antonio Bajo-Ventanas

Para al cálculo del caudal de diseño este proyecto adiciono el 25% del caudal requerido como reserva para nuevas áreas. Utilizando un caudal total de 295 lps.

Para realizar las comparaciones en la tabla 105 se muestran los resultados de los cálculos del módulo de riego utilizando la evapotranspiración potencial con la formula con mejor ajuste en la estación San Alfonso en el municipio de Villavieja la cual fue FAO Penman-Monteith. Dando un módulo de riego de 0.35 lt/s-ha y un caudal requerido de 186.7 lps. (ver anexo 4)

CULTIVOS	AREA BENEFICIADAS DEL RIEGO AIPE (ha)	MODULOS DE RIEGO CON DIFERENTES JORNADAS DE RIEGO (lt/s-ha)	CAUDAL REQUERIDO DEL RIO AIPE (lt/s)
		Jr = 24 horas	Jr = 24 horas
PASTOS	530	0,35	185,5
FRUTALES	3,3	0,35	1,155
TOTAL	533,3		186,7

Tabla 83. Resumen demanda de agua distrito de riego de mediana escala San Antonio Bajo-Ventana utilizando la mejor fórmula de evapotranspiración potencial para la zona.

Para tomar las mismas condiciones del proyecto al caudal de diseño se le adiciono el 25% del caudal requerido como reservas para nuevas áreas, dando un caudal total de 233 lps.

El proyecto del distrito de riego de mediana escala San Antonio Bajo-Ventanas utiliza tubería de 28 pulgadas para los primeros 3715 metros de tubería principal y conduce un caudal de 295 lps. Al realizar una chequeo hidráulico (ver anexo 5) se muestra que al reducir el caudal de 295 lts a 233 lts se puede reducir el diámetro de tubería de 28 a 24 pulgadas para los 3715 metros de tubería principal, esto sin tener velocidades excesivas ni presiones altas en la tubería.

FORMULAS UTILIZADAS	MODULO DE RIEGO	CAUDAL DE DISEÑO (lt/s)	TUBERIA PARA CONDUCCION PRINCIPAL	COSTO TUBERIA (ML)
ETP CON THORNTHWAITE	0,4	295	28"	\$ 350.019,00
ETP CON FAO PENMAN-MONTEITH	0,35	233	24"	\$ 270.239,00
DIFERENCIA	0,05	62	4"	\$ 79.780,00

Tabla 84. Diferencias al utilizar la mejor fórmula de ETP en el distrito de riego San Antonio Bajo-Ventanas.

Como se pueden observar, la diferencia entre los costos de tubería de 28 pulgadas y 24 pulgadas son de \$79.780 pesos, lo que significa que para los 3715 metros de tubería principal si utilizáramos tubería de 24 pulgadas se haría un ahorro de \$296.382.700 pesos que representa un ahorro importante en solo un tramo de tubería.

8. CONCLUSIONES

- La fórmula de evapotranspiración potencial de mayor ajuste en la zona de climas cálidos, transicionales a cálido seco y muy seco, es la de FAO Penman-Monteith ya que presenta los menores índices porcentuales en el 60% de las estaciones estudiadas y correlaciones de moderas a fuertes.
- Para la zona de climas medios y húmedos, la fórmula de evapotranspiración potencial de mayor ajuste es la de Thornthwaite presentando los menores índices porcentuales en el 82% de las estaciones y sus valores tienen similar tendencia a la evapotranspiración real.
- En la zona de climas medio y húmedo, transicional a frío húmedo la fórmula de evapotranspiración potencial con mayor ajuste es la Thornthwaite presentando el menor índice porcentual con 15.5 % y una tendencia similar a la evapotranspiración real.
- Como se observa en la comparación realizada, tener el conocimiento de la mejor fórmula de evapotranspiración potencial para una zona de interés puede disminuir el módulo de riego en un 12.5%, ahorrando un caudales de 62 lts, representado en un ahorro económico de más de 295.000.000 de pesos.

9. RECOMENDACIONES

- Promover la investigación de las demandas de agua y la instalación de lisímetros en diferentes zonas del departamento del Huila, con el propósito de estimar directamente la evapotranspiración potencial de las diferentes zonas climáticas, esto es de vital importancia teniendo en cuenta que esta es la manera más precisa de ajustar las formulas empíricas de evapotranspiración potencial.
- Para dar un cubrimiento total al departamento del Huila, se recomienda buscar estaciones con otras entidades que cuente con parámetros de evaporación o métodos directos que hagan parte del territorio de los climas D (Climas frío húmedo y muy frío, pluvial), E (Climas extremadamente frío y pluvial) y F (Climas subnival y pluvial), ya que el IDEAM no cuenta con estaciones con estos parámetros en estas zonas.
- Pese a las 149 estaciones activas en el Departamento del Huila, hace falta instrumentación necesaria para que registren los datos de una manera precisa, permanente y que cubra todos los parámetros necesarios para una adecuada estimación de la evapotranspiración potencial, como se observa en este investigación, solo 22 estaciones fueron seleccionadas ya que el resto no contaba con parámetros necesarios para el estudio.

10. BIBLIOGRAFÍA

Blaney, H. and Criddle, W., (1950). Determining wáter requirements in irrigated áreas from climatological and irrigation data. Washington D.C, United States Of America.

Caballero, W. (1975). Introducción a la estadística: Instituto interamericano de ciencias agrícolas. San José, Costa Rica.

Christiansen, J. (1966). Estimating evaporation and evapotranspiration from climatic data. Utah State University. United States Of America.

FAO. (1977). Guidelines for predicting crop wáter requirenments: FAO irrigarion and drainage paper 24. Roma, Italia.

FAO. (2006). Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos: Estudio FAO Riego y Drenaje 56. Roma, Italia.

Gasca, V. & Trujillo, O. (2007). Estimación de las demandas hídricas del cultivo de tabaco en el municipio de Campoalegre Departamento del Huila: Universidad Surcolombiana. Neiva, Colombia

Hargreaves Gorge H. (1975) .Water requeriment manual for irrigated crops and rainfed agriculture. prepared under support of the international development agency of the United States. Utah State University. United States Of America.

HIMAT (1985). Estudio comparativo de fórmulas de evapotranspiración Potencial en Colombia: Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras (HIMAT). Bogotá, Colombia.

IGAC, (1994). Estudio de zonificación climática del departamento del Huila.

Jaramillo, R. (2006). Evapotranspiración de referencia en la región andina de Colombia. Recuperado el 1 de Noviembre del 2014 de [http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/232/1/arc057\(04\)288-298.pdf](http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/232/1/arc057(04)288-298.pdf)

Marín, V. (2010). Evaluación de la relación entre la evapotranspiración potencial y la evaporación registrada en los departamentos de Cundinamarca y Valle del Cauca: Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia.

Monsalve S. (1999). Hidrología en la ingeniería. Editorial escuela colombiana de ingeniería (2°ed) Bogotá, Colombia.

Quimbaya F. (2011). Estimación de los requerimientos hídricos en el cultivo de maracuyá. Universidad Surcolombiana. Neiva, Colombia.

Sagarón, N. & Macías, M. (2005) .Correlación y regresión.
Recuperado el 20 octubre del 2014 de
<http://www.revistaciencias.com/publicaciones/EEFkIVFAIpSZMdFoNu.php>

Sánchez, M. (2001). Métodos de estimación de evapotranspiración utilizados en Chile. Instituto de geografía pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile.

Sánchez, M. & Carvacho, B. (2011). Comparación de ecuaciones empíricas para el cálculo de la evapotranspiración de referencia en la región del libertador General Bernardo O´Higgins, Chile. Revista de Geografía Norte Grande.

Sánchez, J. (2010). Evapotranspiración. Recuperado el 5 de octubre del 2014 de
<http://ocw.usal.es/eduCommons/ciencias-experimentales/hidrologia/contenidos/03.Evapotranspiracion.pdf>

Santana, P. & Peña, P. (2010). Obtención de modelos para la determinación de la evapotranspiración de referencia en condiciones de clima subhúmedo seco en las Tunas, Cuba. Recuperado el 25 de Octubre del 2014, de
<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292010000100008>

Soriano, S., Pons M., Garcia-España, S. & Llinares P. (2005). Comparación de los valores de evapotranspiración en la provincia de Valencia utilizando diferentes modelos. Universidad politécnica de Valencia. Valencia, España.

Thornthwaite, C. (1948). An Approach Toward a Rational Classification of Climate. United States Of America.

Tosso, T. (1976). Determinación de evapotranspiración y coeficiente K para varios cultivos. Santiago, Chile.

Zamora, H. & Chaterlán, D. (2001). Estudios sobre evapotranspiración de referencia en Cuba. Revista ciencia técnica agropecuaria: Universidad agraria de la Habana fructuoso Rodríguez Pérez. La Habana, Cuba.

ANEXOS

Anexo 1. Porcentaje medio diario de las horas luz anuales por latitudes. (p)

norte sur	Enero Julio	Febrero Agosto	Marzo Septiem	Abril Octubre	Mayo Noviembre	Junio Diciembre	Julio Enero	Agosto Febrero	Septiembre Marzo	Octubre Abril	Noviembre Mayo	Diciembre Junio
60°	0,15	0,2	0,26	0,32	0,38	0,41	0,4	0,34	0,28	0,22	0,17	0,13
58°	0,16	0,21	0,26	0,32	0,37	0,4	0,39	0,34	0,28	0,23	0,18	0,15
56°	0,17	0,21	0,26	0,32	0,36	0,39	0,38	0,33	0,28	0,23	0,18	0,16
54°	0,18	0,22	0,26	0,31	0,36	0,38	0,37	0,33	0,28	0,23	0,19	0,17
52°	0,19	0,22	0,27	0,31	0,35	0,37	0,36	0,33	0,28	0,24	0,2	0,17
50°	0,19	0,23	0,27	0,31	0,34	0,36	0,35	0,32	0,28	0,24	0,2	0,18
48°	0,2	0,23	0,27	0,31	0,34	0,36	0,35	0,32	0,28	0,24	0,21	0,19
46°	0,2	0,23	0,27	0,3	0,34	0,35	0,34	0,32	0,28	0,24	0,21	0,2
44°	0,21	0,24	0,27	0,3	0,33	0,35	0,34	0,31	0,28	0,25	0,22	0,2
42°	0,21	0,24	0,27	0,3	0,33	0,34	0,33	0,31	0,28	0,25	0,22	0,21
40°	0,22	0,24	0,27	0,3	0,3	0,34	0,33	0,31	0,28	0,25	0,22	0,21
35°	0,23	0,25	0,27	0,29	0,29	0,32	0,32	0,3	0,28	0,25	0,23	0,22
30°	0,24	0,25	0,27	0,29	0,29	0,32	0,31	0,3	0,28	0,26	0,24	0,23
25°	0,24	0,26	0,27	0,29	0,29	0,31	0,31	0,29	0,28	2,6	0,25	0,24
20°	0,25	0,26	0,27	0,28	0,28	0,3	0,3	0,29	0,28	0,26	0,25	0,25
15°	0,26	0,26	0,27	0,28	0,28	0,29	0,29	0,28	0,28	0,27	0,26	0,25
10°	0,26	0,27	0,27	0,28	0,28	0,29	0,29	0,28	0,28	0,27	0,26	0,26
5°	0,27	0,27	0,27	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,27	0,27	0,27
0°	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27

Anexo 2. Radiación solar expresada en equivalente de evaporación (RMD)

RADIACIÓN SOLAR (RMD HARGREAVES) EXPRESADA EN EQUIVALENTE DE EVAPORACIÓN en mm/día												
HEMISFERIO NORTE												
Latit. °	En	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ags	Sep	Oct	Nov	Dic
10°0'	13,2	14,2	15,3	15,7	15,5	15,3	15,3	15,5	15,3	14,7	13,6	12,9
9°45'	13,3	14,2	15,3	15,7	15,5	15,3	15,3	15,5	15,3	14,7	13,6	13,0
9°30'	13,3	14,3	15,3	15,7	15,5	15,2	15,3	15,5	15,3	14,7	13,7	13,0
9°15'	13,4	14,3	15,3	15,7	15,4	15,2	15,2	15,5	15,3	14,7	13,7	13,1
9°00'	13,4	14,4	15,3	15,7	15,4	15,2	15,2	15,5	15,3	14,8	13,8	13,1
8°45'	13,5	14,4	15,3	15,6	15,4	15,1	15,2	15,4	15,3	14,8	13,8	13,2
8°30'	13,5	14,4	15,3	15,6	15,4	15,1	15,2	15,4	15,3	14,8	13,8	13,2
8°15'	13,6	14,5	15,3	15,6	15,3	15,0	15,1	15,4	15,3	14,8	13,9	13,3
8°00'	13,6	14,5	15,3	15,6	15,3	15,0	15,1	15,4	15,3	14,8	13,9	13,3
7°45'	13,6	14,5	15,3	15,6	15,3	15,0	15,1	15,4	15,3	14,8	13,9	13,4
7°30'	13,7	14,6	15,3	15,6	15,3	14,9	15,1	15,4	15,3	14,9	14,0	13,4
7°15'	13,7	14,6	15,3	15,5	15,2	14,9	15,0	15,3	15,3	14,9	14,0	13,5
7°00'	13,8	14,7	15,4	15,5	15,2	14,9	15,0	15,3	15,3	14,9	14,1	13,5
6°45'	13,8	14,7	15,4	15,5	15,2	14,8	15,0	15,3	15,3	14,9	14,1	13,6
6°30'	13,8	14,7	15,4	15,5	15,2	14,8	15,0	15,3	15,3	15,0	14,1	13,6
6°15'	13,9	14,8	15,4	15,4	15,1	14,7	14,9	15,2	15,3	15,0	14,2	13,7
6°00'	13,9	14,8	15,4	15,4	15,1	14,7	14,9	15,2	15,3	15,0	14,2	13,7
5°45'	14,0	14,8	15,4	15,4	15,1	14,7	14,9	15,2	15,3	15,0	14,2	13,8
5°30'	14,0	14,9	15,4	15,4	15,1	14,6	14,8	15,2	15,3	15,0	14,3	13,8
5°15'	14,1	14,9	15,4	15,4	15,0	14,6	14,8	15,2	15,3	15,0	14,3	13,9
5°00'	14,1	14,9	15,5	15,5	15,0	14,6	14,8	15,2	15,3	15,1	14,4	13,9
4°45'	14,2	14,9	15,5	15,5	15,0	14,5	14,7	15,1	15,3	15,1	14,4	14,0
4°30'	14,2	15,0	15,5	15,5	15,0	14,5	14,7	15,1	15,3	15,1	14,4	14,0
4°15'	14,3	15,0	15,5	15,5	14,9	14,4	14,6	15,1	15,3	15,1	14,5	14,1
4,0	14,3	15,0	15,5	15,5	14,9	14,4	14,6	15,1	15,3	15,1	14,5	14,1
3°45'	14,4	15,0	15,5	15,5	14,9	14,4	14,6	15,1	15,3	15,1	14,5	14,1
3°30'	14,4	15,1	15,5	15,5	14,8	14,4	14,5	15,1	15,3	15,2	14,6	14,2
3°15'	14,5	15,1	15,5	15,4	14,8	14,3	14,5	15,0	15,3	15,2	14,6	14,2
3°00'	14,5	15,2	15,6	15,4	14,8	14,3	14,5	15,0	15,3	15,2	14,7	14,3
2°45'	14,6	15,2	15,6	15,4	14,7	14,3	14,4	15,0	15,3	15,2	14,7	14,3
2°30'	14,6	15,2	15,6	15,4	14,7	14,3	14,4	15,0	15,3	15,3	14,7	14,3
2°15'	14,7	15,3	15,6	15,3	14,6	14,2	14,3	14,9	15,3	15,3	14,8	14,4
2°00'	14,7	15,3	15,6	15,3	14,6	14,2	14,3	14,9	15,3	15,3	14,8	14,4
1°45'	14,7	15,3	15,6	15,3	14,6	14,2	14,3	14,9	15,3	15,3	14,8	14,5
1°30'	14,8	15,4	15,6	15,3	14,6	14,1	14,3	14,9	15,3	15,3	14,9	14,5
1°15'	14,8	15,4	15,6	15,3	14,5	14,1	14,2	14,9	15,3	15,3	14,9	14,6
1°00'	14,9	15,4	15,7	15,3	14,5	14,1	14,2	14,9	15,3	15,4	15,0	14,6
0°45'	14,9	15,4	15,7	15,3	14,5	14,0	14,2	14,8	15,3	15,4	15,0	14,7
0°30'	14,9	15,5	15,7	15,3	14,5	14,0	14,2	14,8	15,3	15,4	15,0	14,7
0°15'	15,0	15,5	15,7	15,3	14,4	13,9	14,1	14,8	15,3	15,4	15,1	14,8
0,0	15,0	15,5	15,7	15,3	14,4	13,9	14,1	14,8	15,3	15,4	15,1	14,8

Anexo 3. Número de horas luz por latitud. (N)

Latitud	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
5°	11,8	11,9	12	12,2	12,3	12,4	12,3	12,3	12,1	12	11,9	11,8
4:45°	11,81	11,905	12	12,19	12,285	12,38	12,285	12,285	12,095	12	11,905	11,81
4:30°	11,82	11,91	12	12,18	12,27	12,36	12,27	12,27	12,09	12	11,91	11,82
4:15°	11,83	11,915	12	12,17	12,255	12,34	12,255	12,255	12,085	12	11,915	11,83
4°	11,84	11,92	12	12,16	12,24	12,32	12,24	12,24	12,08	12	11,92	11,84
3:45°	11,85	11,925	12	12,15	12,225	12,3	12,225	12,225	12,075	12	11,925	11,85
3:30°	11,86	11,93	12	12,14	12,21	12,28	12,21	12,21	12,07	12	11,93	11,86
3:15°	11,87	11,935	12	12,13	12,195	12,26	12,195	12,195	12,065	12	11,935	11,87
3°	11,88	11,94	12	12,12	12,18	12,24	12,18	12,18	12,06	12	11,94	11,88
2:45°	11,89	11,945	12	12,11	12,165	12,22	12,165	12,165	12,055	12	11,945	11,89
2:30°	11,9	11,95	12	12,1	12,15	12,2	12,15	12,15	12,05	12	11,95	11,9
2:15°	11,91	11,955	12	12,09	12,135	12,18	12,135	12,135	12,045	12	11,955	11,91
2°	11,92	11,96	12	12,08	12,12	12,16	12,12	12,12	12,04	12	11,96	11,92
1:45°	11,93	11,965	12	12,07	12,105	12,14	12,105	12,105	12,035	12	11,965	11,93
1:30°	11,94	11,97	12	12,06	12,09	12,12	12,09	12,09	12,03	12	11,97	11,94
1:15°	11,95	11,975	12	12,05	12,075	12,1	12,075	12,075	12,025	12	11,975	11,95
1°	11,96	11,98	12	12,04	12,06	12,08	12,06	12,06	12,02	12	11,98	11,96
0°:45'	11,97	11,985	12	12,03	12,045	12,06	12,045	12,045	12,015	12	11,985	11,97
0°:30'	11,98	11,99	12	12,02	12,03	12,04	12,03	12,03	12,01	12	11,99	11,98
0°:15'	11,99	11,995	12	12,01	12,015	12,02	12,015	12,015	12,005	12	11,995	11,99
0°	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12

ANEXO 4. Radiación extraterrestre tomada en la parte superior de la atmósfera (cal/cm²-dia)

Latitud Norte	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
0	885	915	925	900	850	820	830	870	905	910	890	875
10	780	840	900	925	915	900	905	915	905	865	800	760
20	660	750	850	920	960	965	960	935	875	785	685	630
30	520	630	775	895	975	1000	990	925	820	685	560	490
40	380	505	675	845	965	1020	985	895	740	565	415	335
50	225	360	555	750	930	1010	970	830	640	435	265	190
60	90	215	425	670	890	1000	945	770	510	285	120	60
70	0	70	275	565	855	1025	945	685	385	145	15	0
80	0	0	125	480	890	1075	995	660	255	25	0	0
90	0	0	40	470	900	1085	1010	670	170	0	0	0

Anexo 5. Información climatológica de las estaciones seleccionadas.

Anexo 5.1. Información básica y climatológica estación San Alfonso.

N°	ESTACIÓN		ESTACIÓN			CODIGO IDEAM		TIPO DE ESTACION	ELEVACION		LATITUD	LONGITUD
1	VILLAVIEJA		SAN ALFONSO			21145040		AM	0440 msnm		03°22' N	75°06' W
21145040 SAN ALFONSO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
TEMPERATURA (°C)	28,5	29,1	28,6	27,9	28,4	28,5	29,0	30,1	29,6	28,7	27,5	27,7
BRILLO SOLAR (Horas)	152,3	135,1	121,4	127,1	141,3	137,0	154,4	161,0	144,4	145,1	129,1	119,3
HUMEDAD RELATIVA (%)	67,2	66,1	69,1	72,5	69,7	64,7	59,1	56,8	59,1	68,0	73,2	71,6
VEL VIENTO (m/s)	2,3	2,5	2,3	2,0	2,1	2,3	2,7	2,9	2,8	2,6	2,2	2,1
EVAPORACION (mms)	168,6	150,9	150,9	132,3	142,7	159,1	178,3	199,8	189,0	163,9	127,8	134,6

Anexo 5.2. Información básica y climatológica estación La Boca.

N°	MUNICIPIO	ESTACIÓN			CODIGO IDEAM		TIPO DE ESTACION	ELEVACION		LATITUD	LONGITUD	
2	VILLAVIEJA	BOCA LA			21115120		AM	0440 msnm		03°22' N	75°06' W	
21115120 BOCA LA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
TEMPERATURA (°C)	27,8	28,6	28,2	27,7	27,6	28,0	28,5	29,1	29,0	27,8	27,1	27,5
BRILLO SOLAR (Horas)	200,2	180,6	171,7	177,0	203,1	174,9	189,5	198,6	182,1	169,9	182,4	227,9
HUMEDAD RELATIVA (%)	71,4	67,1	72,6	74,9	86,7	72,1	64,7	59,5	61,0	70,4	76,0	75,9
VEL VIENTO (m/s)	2,3	2,5	2,3	2,0	2,1	2,3	2,7	2,9	2,8	2,6	2,2	2,1
EVAPORACION (mms)	151,4	151,8	151,2	134,9	133,5	141,1	175,5	192,9	195,4	154,8	113,4	121,5

Anexo 5.3. Información básica y climatológica estación San José.

N°	MUNICIPIO	ESTACIÓN			CODIGO IDEAM		TIPO DE ESTACION	ELEVACION		LATITUD	LONGITUD	
3	VILLAVIEJA	SAN JOSE			21115060		CO	0400 msnm		03°19' N	75°11' W	
21115060 SAN JOSE	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
TEMPERATURA (°C)	28,9	29,0	28,6	28,2	28,4	28,9	29,5	30,3	30,0	28,9	27,6	27,8
BRILLO SOLAR (Horas)	152,3	135,1	121,4	127,1	141,3	137,0	154,4	161,0	144,4	145,1	129,1	119,3
HUMEDAD RELATIVA (%)	67,3	67,1	68,7	70,1	69,0	66,4	62,2	58,1	60,2	66,2	72,8	71,5
VEL VIENTO (m/s)	2,3	2,5	2,3	2,0	2,1	2,3	2,7	2,9	2,8	2,6	2,2	2,1
EVAPORACION (mms)	176,2	147,8	123,7	141,8	162,8	155,9	168,5	234,8	212,6	159,2	131,5	128,7

Anexo 5.4. Información básica y climatológica estación San Rafael.

N°	MUNICIPIO	ESTACIÓN			CODIGO IDEAM		TIPO DE ESTACION	ELEVACION		LATITUD	LONGITUD	
4	TERUEL	SAN RAFAEL			21085030		CO	1030 msnm		02°45' N	75°34' W	
21085030 SAN RAFAEL	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
TEMPERATURA (°C)	23,8	23,5	23,1	22,9	23,1	23,3	23,1	23,7	23,8	23,2	22,5	22,9
BRILLO SOLAR (Horas)	148,2	127,4	108,8	102,5	111,2	127,1	122,8	128,0	124,3	128,5	109,6	129,9
HUMEDAD RELATIVA (%)	77,1	80,6	81,5	83,6	82,3	77,3	74,6	68,6	70,1	78,6	85,5	83,9
VEL VIENTO (m/s)	1,51	1,58	1,55	1,59	1,53	1,60	1,73	1,84	1,82	1,66	1,58	1,51
EVAPORACION (mms)	123,5	100,3	102,2	96,6	101,5	105,3	114,0	122,8	129,7	118,7	95,6	95,4

Anexo 5.5. Información básica y climatológica El Juncal.

N°	MUNICIPIO	ESTACIÓN					CODIGO IDEAM		TIPO DE ESTACION	ELEVACION		LATITUD	LONGITUD
8	PALERMO	JUNCAL EL					21095010		CO	0460 msnm		02°49' N	75°19' W
21095010 JUNCAL EL	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
TEMPERATURA (°C)	27,5	27,4	27,2	26,9	27,0	27,3	27,5	28,0	28,0	27,5	26,8	27,1	
BRILLO SOLAR (Horas)	185,4	157,9	135,9	130,4	149,8	148,7	169,9	170,9	146,6	159,4	156,9	181,8	
HUMEDAD RELATIVA (%)	70,6	72,8	74,6	74,4	73,0	68,5	65,0	61,0	62,3	68,3	74,4	68,5	
VEL VIENTO (m/s)	0,8	1,0	1,0	1,1	1,3	1,6	2,0	2,3	1,6	1,2	0,8	0,7	
EVAPORACION (mms)	134,7	140,7	126,6	123,9	125,1	148,7	173,5	194,5	167,8	142,5	111,4	113,6	

Anexo 5.6. Información básica y climatológica estación Iquira.

N°	MUNICIPIO	ESTACIÓN					CODIGO IDEAM		TIPO DE ESTACION	ELEVACION		LATITUD	LONGITUD
11	IQUIRA	IQUIRA					21085020		CO	1095 msnm		02°39' N	75°37' W
21085020 IQUIRA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
TEMPERATURA (°C)	23,3	23,4	23,3	23,2	23,3	23,2	23,4	23,9	24,3	23,7	22,9	23,1	
BRILLO SOLAR (Horas)	155,6	130,3	112,9	126,8	132,9	138,9	132,7	144,5	141,4	143,0	125,4	141,2	
HUMEDAD RELATIVA (%)	78,0	77,7	80,4	78,9	77,7	73,2	70,2	67,8	67,8	73,9	81,3	80,5	
VEL VIENTO (m/s)	2,1	2,3	2,1	2,3	2,7	3,4	4,1	4,3	3,4	2,6	2,0	2,0	
EVAPORACION (mms)	111,4	105,0	113,9	108,7	116,0	118,8	126,1	135,5	130,6	125,6	99,7	104,4	

Anexo 5.7. Información básica y climatológica estación Hidrobetania.

N°	MUNICIPIO	ESTACIÓN					CODIGO IDEAM		TIPO DE ESTACION	ELEVACION		LATITUD	LONGITUD
15	CAMPOALEGRE	HIDROBETANIA					21105060		CP	0500 msnm		02°42' N	75°25' W
21105060 HIDROBETANIA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
TEMPERATURA (°C)	27,5	27,7	27,0	26,8	27,0	27,1	27,3	27,9	28,1	27,2	26,3	26,4	
BRILLO SOLAR (Horas)	208,4	167,7	148,5	147,8	155,0	160,0	173,2	174,0	156,9	166,6	163,3	178,5	
HUMEDAD RELATIVA (%)	71,1	65,1	75,3	73,4	71,3	66,2	62,6	54,3	59,0	67,9	68,8	75,0	
VEL VIENTO (m/s)	1,9	2,0	2,1	2,4	3,0	4,0	4,9	5,2	4,2	2,8	1,9	1,8	
EVAPORACION (mms)	156,4	154,3	131,6	136,3	167,5	185,6	198,0	215,8	208,3	170,7	125,8	132,0	

Anexo 5.8. Información básica y climatológica estación Los Rosales.

N°	MUNICIPIO	ESTACIÓN					CODIGO IDEAM		TIPO DE ESTACION	ELEVACION		LATITUD	LONGITUD
16	CAMPOALEGRE	ROSALES LOS					21105050		CP	0553 msnm		02°36' N	75°25' W
21105050 ROSALES LOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
TEMPERATURA (°C)	28,0	28,3	27,7	27,2	27,5	27,7	28,2	29,0	28,9	27,9	26,8	26,9	
BRILLO SOLAR (Horas)	208,4	167,7	148,5	147,8	155,0	160,0	173,2	174,0	156,9	166,6	163,3	178,5	
HUMEDAD RELATIVA (%)	68,2	67,4	71,5	73,6	71,2	65,7	59,8	55,1	57,5	66,4	75,5	74,9	
VEL VIENTO (m/s)	2,1	2,3	2,1	2,3	2,7	3,4	4,1	4,3	3,4	2,6	2,0	2,0	
EVAPORACION (mms)	140,3	126,5	121,9	112,0	124,8	144,8	175,2	191,8	176,9	146,0	104,7	107,5	

Anexo 5.9. Información básica y climatológica estación Hda la Manilla.

N°	MUNICIPIO	ESTACIÓN					CODIGO IDEAM		TIPO DE ESTACION	ELEVACION		LATITUD	LONGITUD
17	BARAYA	MANILA LA HDA					21115160		AM	0600 msnm		03°07' N	75°04' W
21115160 MANILA LA HDA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
TEMPERATURA (°C)	27,2	27,2	26,8	26,3	26,3	26,6	27,1	27,7	27,6	26,8	26,1	26,2	
BRILLO SOLAR (Horas)	152,3	135,1	121,4	127,1	141,3	137,0	154,4	161,0	144,4	145,1	129,1	119,3	
HUMEDAD RELATIVA (%)	71,0	70,4	72,1	74,5	74,8	72,1	68,8	66,4	67,0	71,2	74,7	75,6	
VEL VIENTO (m/s)	2,3	2,5	2,3	2,0	2,1	2,3	2,7	2,9	2,8	2,6	2,2	2,1	
EVAPORACION (mms)	143,9	139,6	131,3	124,3	129,9	135,0	167,2	180,4	172,0	161,2	122,1	135,9	

Anexo 5.10. Información básica y climatológica estación Apto Benito Salas.

N°	MUNICIPIO	ESTACIÓN					CODIGO IDEAM		TIPO DE ESTACION	ELEVACION		LATITUD	LONGITUD
22	NEIVA	APTO BENITO SALAS					21115020		SS	0439 msnm		02°56' N	75°17' W
21115020 APTO BENITO SALAS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
TEMPERATURA (°C)	28,0	28,3	27,7	27,2	27,5	27,7	28,2	29,0	28,9	27,9	26,8	26,9	
BRILLO SOLAR (Horas)	208,4	167,7	148,5	147,8	155,0	160,0	173,2	174,0	156,9	166,6	163,3	178,5	
HUMEDAD RELATIVA (%)	68,2	67,4	71,5	73,6	71,2	65,7	59,8	55,1	57,5	66,4	75,5	74,9	
VEL VIENTO (m/s)	0,8	1,0	1,0	1,1	1,3	1,6	2,0	2,3	1,6	1,2	0,8	0,7	
EVAPORACION (mms)	163,9	151,2	158,3	148,0	153,5	170,5	206,7	234,7	208,9	179,3	139,2	142,3	

Anexo 5.11. Información básica y climatológica estación Santa María.

N°	MUNICIPIO	ESTACIÓN					CODIGO IDEAM		TIPO DE ESTACION	ELEVACION		LATITUD	LONGITUD
5	SANTA MARIA	STA MARIA					21125010		CO	1300 msnm		02°56' N	75°35' W
21125010 STA MARIA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
TEMPERATURA (°C)	20,8	21,0	21,0	21,0	20,9	20,7	20,8	21,1	21,2	20,9	20,6	20,6	
BRILLO SOLAR (Horas)	161,0	128,3	109,3	104,3	125,7	135,7	146,8	141,4	137,7	118,5	109,4	129,9	
HUMEDAD RELATIVA (%)	84,1	84,6	85,0	84,9	85,2	83,5	81,8	79,0	79,3	83,9	86,3	86,2	
VEL VIENTO (m/s)	0,8	1,0	1,0	1,1	1,3	1,6	2,0	2,3	1,6	1,2	0,8	0,7	
EVAPORACION (mms)	111,0	98,4	100,3	94,4	103,3	102,0	112,7	117,8	117,5	99,6	88,2	94,2	

Anexo 5.12. Información básica y climatológica estación Sevilla.

N°	MUNICIPIO	ESTACIÓN					CODIGO IDEAM		TIPO DE ESTACION	ELEVACION		LATITUD	LONGITUD
7	PITALITO	SEVILLA					21015020		CO	1320 msnm		01°49' N	76°07' W
21015020 SEVILLA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
TEMPERATURA (°C)	21,1	21,2	20,7	20,7	20,5	20,0	19,7	19,7	20,2	20,4	20,6	20,7	
BRILLO SOLAR (Horas)	162,5	133,8	110,0	114,9	118,1	106,0	116,4	120,4	134,5	142,8	146,1	156,4	
HUMEDAD RELATIVA (%)	80,3	80,0	83,1	83,3	83,7	84,2	84,4	83,2	82,3	81,9	83,2	83,1	
VEL VIENTO (m/s)	1,9	1,9	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	2,0	1,9	1,9	1,8	
EVAPORACION (mms)	117,0	99,1	92,4	87,4	90,0	75,5	79,0	82,7	95,2	98,2	98,0	95,9	

Anexo 5.13. Información básica y climatológica estación Esc Agr La Plata.

N°	MUNICIPIO		ESTACIÓN			CODIGO IDEAM		TIPO DE ESTACION	ELEVACION		LATITUD	LONGITUD
9	LA PLATA		ESC AGR LA PLATA			21055020		CP	1070 msnm		02°22' N	75°53' W
ESC AGR LA PLATA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
TEMPERATURA (°C)	22,5	22,7	22,6	22,4	22,4	22,1	22,1	22,5	23,0	22,8	22,6	22,4
BRILLO SOLAR (Horas)	150,1	128,2	111,9	104,2	109,3	115,9	120,0	117,3	123,0	124,8	120,9	136,8
HUMEDAD RELATIVA (%)	81,6	81,1	82,6	83,4	82,4	81,0	77,7	72,6	71,4	77,2	82,6	84,5
VEL VIENTO (m/s)	1,5	1,6	1,5	1,6	1,5	1,6	1,7	1,8	1,8	1,7	1,6	1,5
EVAPORACION (mms)	97,7	88,1	90,8	81,8	89,3	89,1	96,1	107,9	111,1	110,9	83,5	88,9

Anexo 5.14. Información básica y climatológica de la estación Terpeya.

N°	MUNICIPIO		ESTACIÓN			CODIGO IDEAM		TIPO DE ESTACION	ELEVACION		LATITUD	LONGITUD
10	IQUIRA		TERPEYA COLOMBIA			21085040		CO	1650 msnm		02°39' N	75°39' W
21085040 TERPEYA COLOMBIA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
TEMPERATURA (°C)	18,7	18,9	18,9	18,8	18,9	18,7	18,7	19,1	19,5	19,1	18,5	18,4
BRILLO SOLAR (Horas)	208,4	167,7	148,5	147,8	155,0	160,0	173,2	174,0	156,9	166,6	163,3	178,5
HUMEDAD RELATIVA (%)	87,6	86,1	86,0	85,9	85,0	81,3	78,4	74,1	74,6	82,6	87,8	88,1
VEL VIENTO (m/s)	2,1	2,3	2,1	2,3	2,7	3,4	4,1	4,3	3,4	2,6	2,0	2,0
EVAPORACION (mms)	84,9	86,7	96,0	82,6	90,5	91,8	98,8	109,9	111,3	96,4	74,4	79,2

Anexo 5.15. Información básica y climatológica estación Resina.

N°	MUNICIPIO		ESTACIÓN			CODIGO IDEAM		TIPO DE ESTACION	ELEVACION		LATITUD	LONGITUD
12	GUADALUPE		RESINA			21035020		CO	2102 msnm		01°54' N	75°40' W
21035020 RESINA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
TEMPERATURA (°C)	16,3	16,1	16,1	16,1	16,0	15,5	14,9	15,1	15,8	16,1	16,2	16,4
BRILLO SOLAR (Horas)	114,8	87,7	83,9	85,1	92,6	106,5	95,8	107,4	109,2	104,1	87,3	102,0
HUMEDAD RELATIVA (%)	85,6	85,9	86,7	87,4	87,9	87,5	87,7	87,1	85,7	86,4	88,0	87,1
VEL VIENTO (m/s)	2,4	2,5	2,5	2,6	2,6	2,9	3,0	3,2	2,8	2,3	2,2	2,4
EVAPORACION (mms)	76,6	69,6	70,6	66,7	63,8	58,7	65,2	69,1	74,3	73,6	66,1	66,8

Anexo 5.16. Información básica y climatología estación Zuluaga.

N°	MUNICIPIO		ESTACIÓN			CODIGO IDEAM		TIPO DE ESTACION	ELEVACION		LATITUD	LONGITUD
13	GARZON		ZULUAGA			21065040		CO	1270 msnm		02°15' N	75°31' W
21065040 ZULUAGA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
TEMPERATURA (°C)	20,9	21,0	20,7	20,6	20,5	20,0	19,8	19,9	20,2	20,5	20,5	20,5
BRILLO SOLAR (Horas)	124,3	104,4	80,2	73,2	72,8	76,7	87,8	85,4	84,8	97,8	92,7	102,8
HUMEDAD RELATIVA (%)	81,4	81,0	84,0	84,9	85,0	84,5	83,0	80,9	79,4	82,1	85,9	86,5
VEL VIENTO (m/s)	1,51	1,59	1,56	1,45	1,53	1,60	1,70	1,84	1,81	1,66	1,58	1,48
EVAPORACION (mms)	87,6	84,0	72,2	77,8	89,8	79,5	80,1	79,7	85,6	90,0	85,4	77,2

Anexo 5.17. Información básica y climatológica estación La Legiosa.

N°	MUNICIPIO	ESTACIÓN					CODIGO IDEAM		TIPO DE ESTACION	ELEVACION		LATITUD	LONGITUD
14	TERUEL	SAN RAFAEL					21085030		CO	1030 msnm		02°45' N	75°34' W
21145070 LEGIOSA LA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
TEMPERATURA (°C)	19,7	19,7	19,6	19,4	18,9	18,2	17,8	18,6	19,2	19,4	19,4	19,3	
BRILLO SOLAR (Horas)	153,3	141,6	104,4	87,1	83,8	71,8	80,8	106,4	134,6	135,9	124,8	146,2	
HUMEDAD RELATIVA (%)	80,6	80,4	84,8	85,3	85,1	86,1	86,2	82,0	79,9	75,7	85,7	79,2	
VEL VIENTO (m/s)	4,3	4,2	3,7	4,0	4,2	5,0	4,9	4,8	4,3	3,7	3,1	3,2	
EVAPORACION (mms)	93,8	81,1	80,6	68,7	66,3	54,5	57,0	75,3	89,9	86,7	72,7	74,1	

Anexo 5.18. Información básica y climatológica estación El Grifo Altamira.

N°	MUNICIPIO	ESTACIÓN					CODIGO IDEAM		TIPO DE ESTACION	ELEVACION		LATITUD	LONGITUD
18	ALTAMIRA	ALTAMIRA EL GRIFO					21025030		CO	1368 msnm		02°04' N	75°44' W
21025030 ALTAMIRA EL GRIFO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
TEMPERATURA (°C)	21,6	21,7	21,1	20,9	20,5	20,0	19,8	20,2	20,8	21,0	20,9	20,9	
BRILLO SOLAR (Horas)	169,5	136,4	112,5	120,4	126,9	122,5	124,8	136,8	133,5	140,1	134,2	157,8	
HUMEDAD RELATIVA (%)	73,7	74,0	76,8	77,6	77,8	77,5	76,5	73,7	71,8	74,5	78,2	78,0	
VEL VIENTO (m/s)	2,4	2,5	2,5	2,6	2,6	2,9	3,0	3,2	2,8	2,3	2,2	2,4	
EVAPORACION (mms)	97,3	86,4	100,0	86,3	90,7	103,8	94,9	88,1	102,9	100,8	84,9	90,4	

Anexo 5.19. Información básica y climatológica estación Algeciras.

N°	MUNICIPIO	ESTACIÓN					CODIGO IDEAM		TIPO DE ESTACION	ELEVACION		LATITUD	LONGITUD
19	ALGECIRAS	ALGECIRAS					21105030		CO	1155 msnm		02°31' N	75°19' W
21105030 ALGECIRAS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
TEMPERATURA (°C)	23,4	23,6	23,4	23,2	23,2	22,8	23,0	23,6	23,5	23,3	22,7	23,0	
BRILLO SOLAR (Horas)	149,9	118,9	111,2	99,2	104,9	106,9	114,4	120,7	112,4	106,3	109,2	132,4	
HUMEDAD RELATIVA (%)	75,5	74,4	76,4	79,8	78,4	76,1	72,0	67,9	69,6	73,4	79,5	78,8	
VEL VIENTO (m/s)	2,1	2,3	2,1	2,3	2,7	3,4	4,1	4,3	3,4	2,6	2,0	2,0	
EVAPORACION (mms)	100,9	95,2	97,6	91,8	88,5	89,1	98,8	105,0	102,4	95,6	86,8	98,6	

Anexo 5.20. Información básica y climatológica estación Cueva Los Guacharos.

N°	MUNICIPIO	ESTACIÓN					CODIGO IDEAM		TIPO DE ESTACION	ELEVACION		LATITUD	LONGITUD
20	ACEVEDO	CUEVA LOS GUACHARO					21035030		CO	2225 msnm		01°35' N	76°00' W
21035030 CUEVA LOS GUACHARO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
TEMPERATURA (°C)	16,2	16,4	16,7	16,6	16,4	15,7	15,1	17,9	13,6	14,1	14,3	14,1	
BRILLO SOLAR (Horas)	114,1	89,6	69,8	70,2	91,4	74,0	77,8	82,0	86,3	84,2	80,4	88,1	
HUMEDAD RELATIVA (%)	90,0	89,1	91,0	92,5	92,6	92,8	92,2	90,7	91,5	91,4	91,7	91,2	
VEL VIENTO (m/s)	2,4	2,5	2,5	2,6	2,6	2,9	3,0	3,2	2,8	2,3	2,2	2,4	
EVAPORACION (mms)	54,2	54,8	53,1	51,4	51,4	43,6	47,8	50,3	52,8	54,4	46,6	50,5	

Anexo 5.21. Información básica y climatológica estación Palacio-Vegalarga.

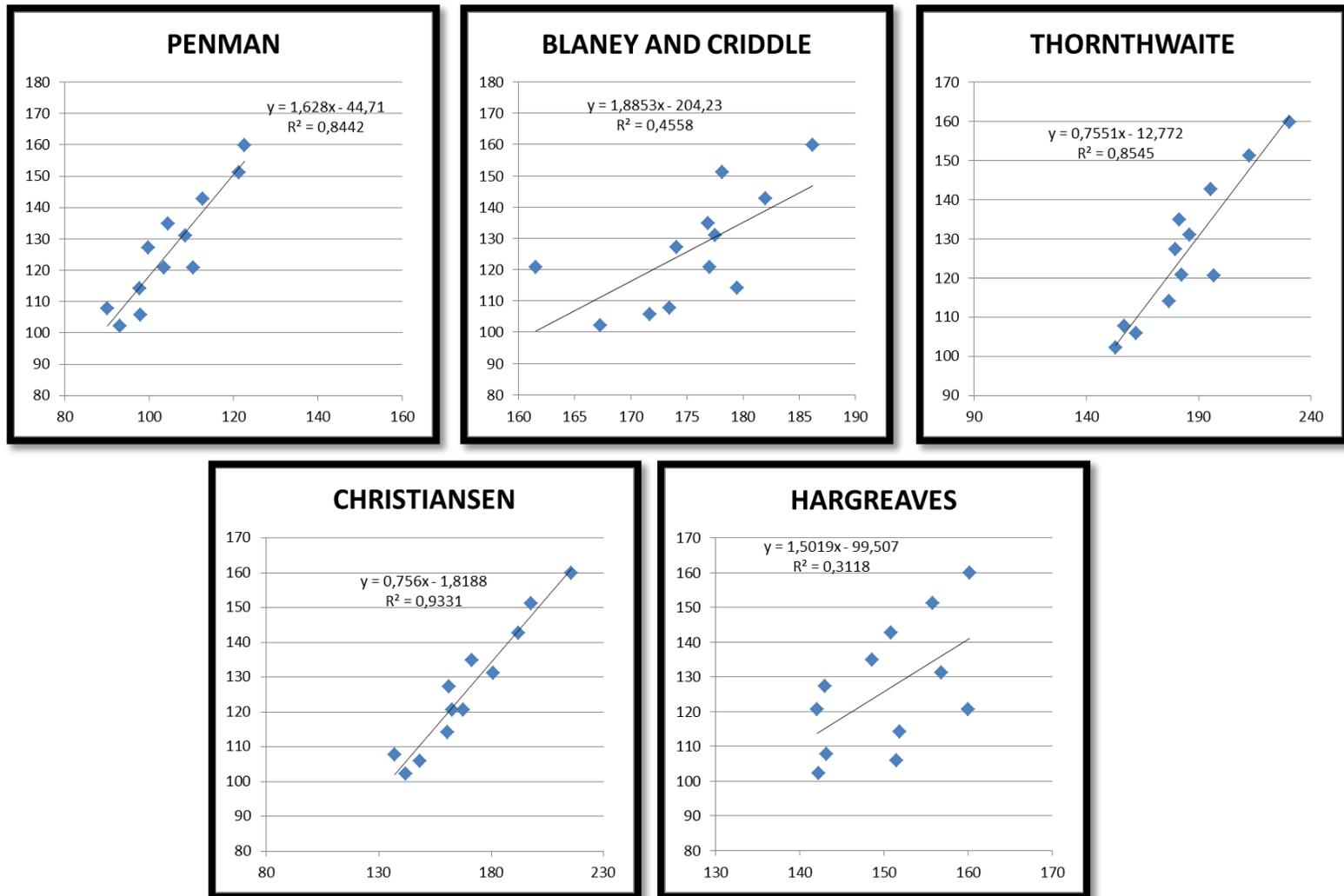
N°	MUNICIPIO	ESTACIÓN					CODIGO IDEAM		TIPO DE ESTACION	ELEVACION			LATITUD	LONGITUD
21	NEIVA	PALACIO-VEGALARGA					21115100		CO	1100 msnm			02°56' N	75°03' W
21115100 PALACIO-VEGALARGA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC		
TEMPERATURA (°C)	22,7	22,9	22,5	22,4	22,5	22,6	22,8	23,3	23,2	22,7	22,1	22,2		
BRILLO SOLAR (Horas)	167,4	135,4	112,2	103,5	116,7	127,6	134,6	146,6	124,9	121,2	107,4	119,6		
HUMEDAD RELATIVA (%)	75,0	74,7	78,3	79,3	77,6	73,5	71,1	66,8	67,8	76,1	81,8	80,7		
VEL VIENTO (m/s)	0,8	1,0	1,0	1,1	1,3	1,6	2,0	2,3	1,6	1,2	0,8	0,7		
EVAPORACION (mms)	126,4	112,6	109,7	93,4	99,5	106,7	119,3	128,0	133,2	120,4	85,1	85,6		

Anexo 5.22. Información básica y climatológica estación Parque Arqueológico.

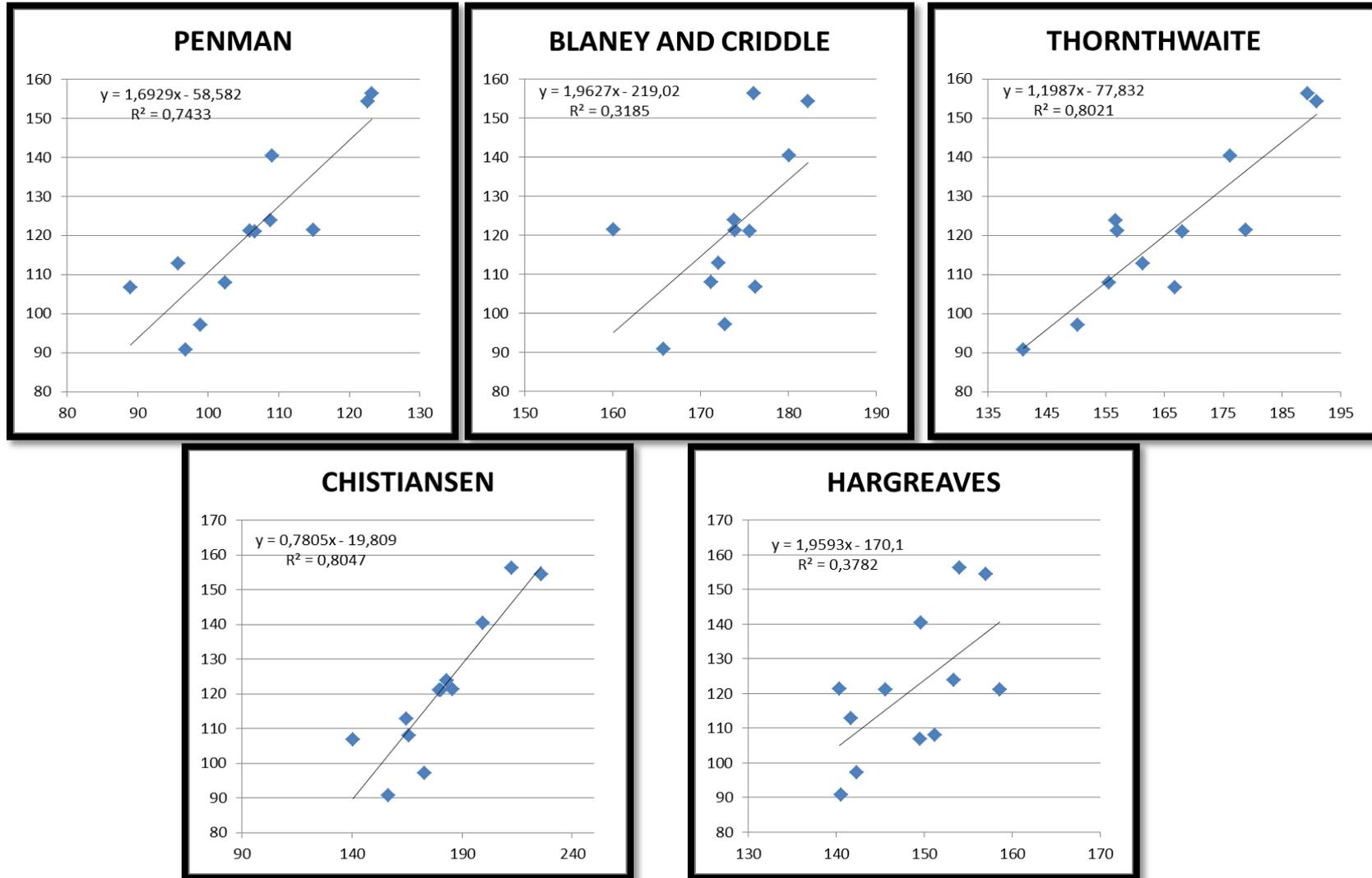
N°	MUNICIPIO	ESTACIÓN					CODIGO IDEAM		TIPO DE ESTACION	ELEVACION			LATITUD	LONGITUD
6	SAN AGUSTIN	PARQUE ARQUEOLOGIC					21015030		CP	1800 msnm			01°53' N	76°17' W
21015030 PARQUE ARQUEOLOGIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC		
TEMPERATURA (°C)	19,3	19,3	19,1	18,9	18,7	18,0	17,7	17,7	18,4	18,9	19,0	18,9		
BRILLO SOLAR (Horas)	162,5	133,8	110,0	114,9	118,1	106,0	116,4	120,4	134,5	142,8	146,1	156,4		
HUMEDAD RELATIVA (%)	75,9	76,0	78,0	79,2	80,8	81,5	81,4	79,8	77,8	78,0	79,4	78,8		
VEL VIENTO (m/s)	1,9	1,9	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	2,0	1,9	1,9	1,8		
EVAPORACION (mms)	99,0	93,7	90,6	82,0	75,4	65,8	71,9	79,5	90,0	96,4	90,1	86,7		

Anexo 6. Coeficiente de determinación R^2 de las estaciones seleccionadas.

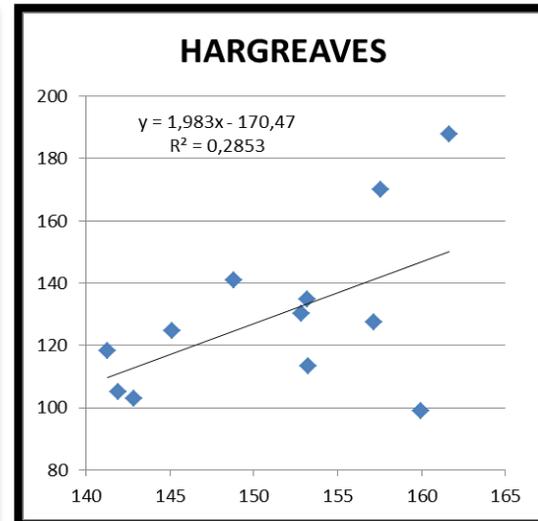
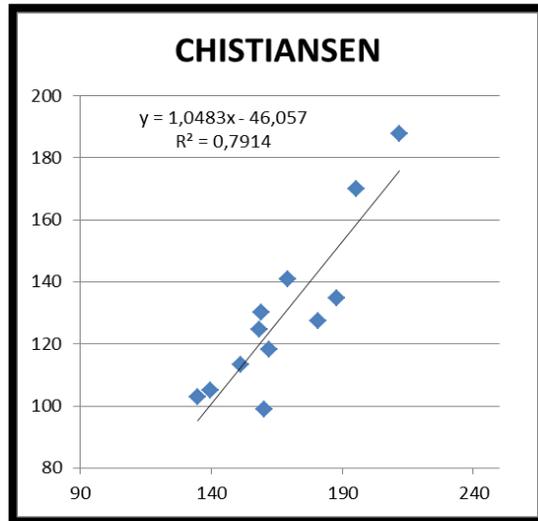
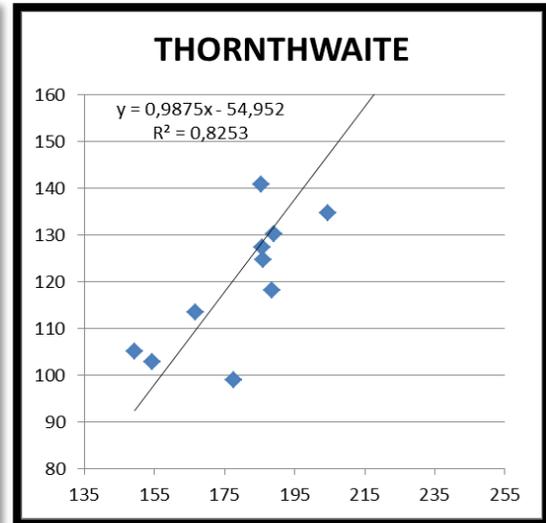
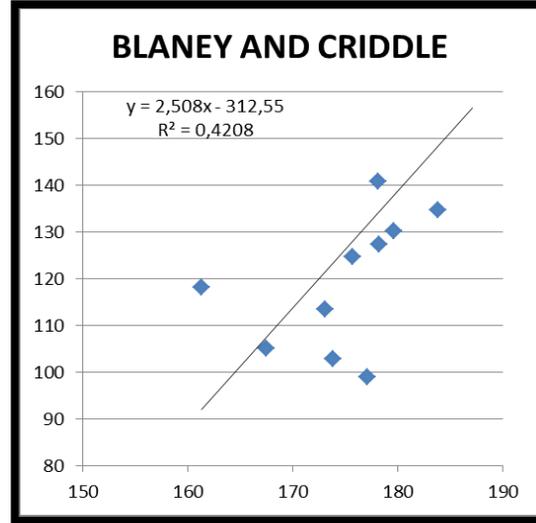
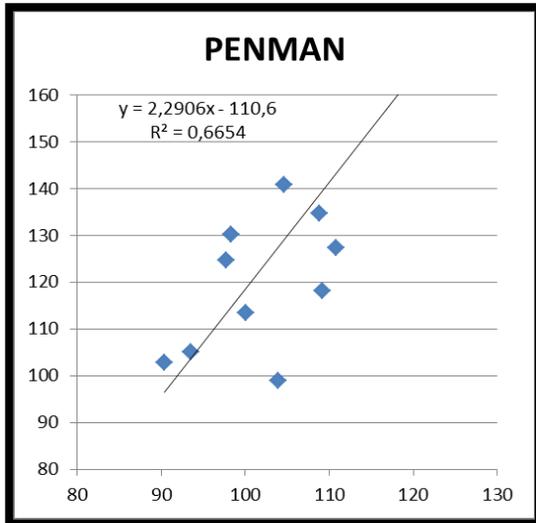
Anexo 6.1. Coeficiente de determinación evapotranspiración real Vs Penman-Monteith/Blaney and Criddle/Thornthwaite/Christiansen/Hargreaves.
Estación San Alfonso.



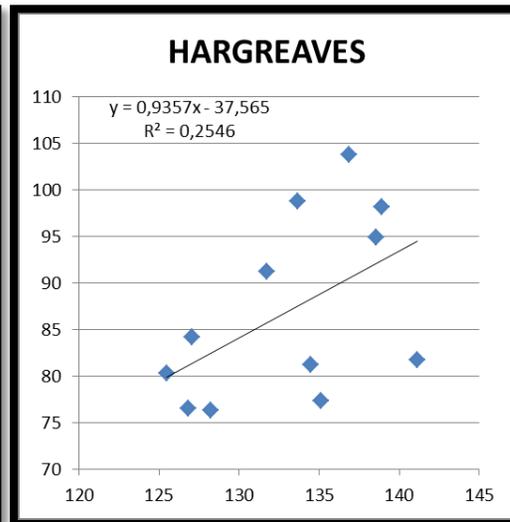
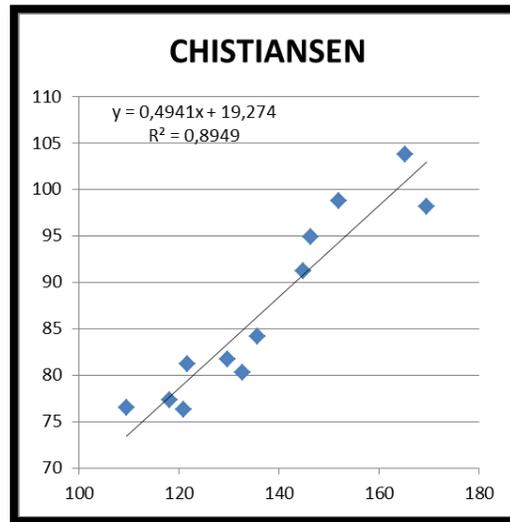
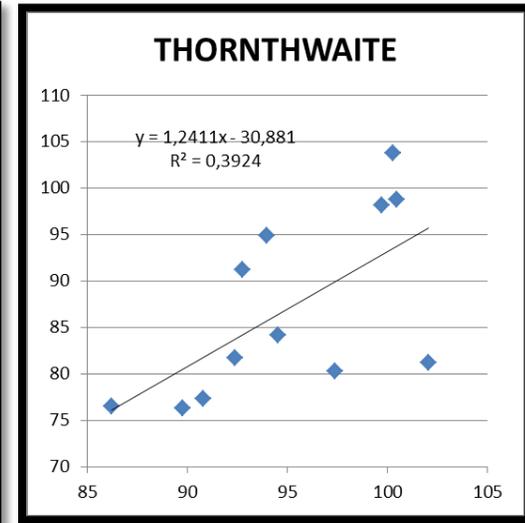
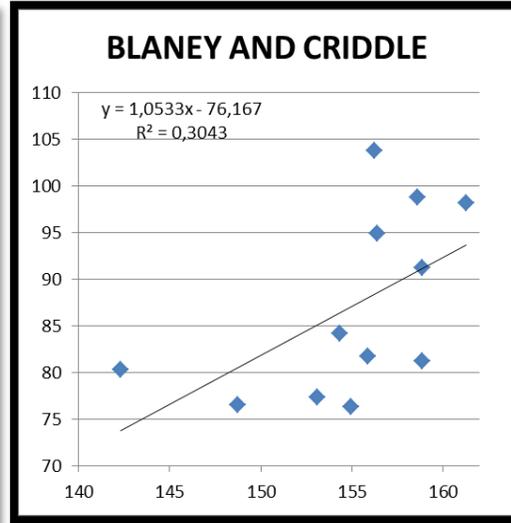
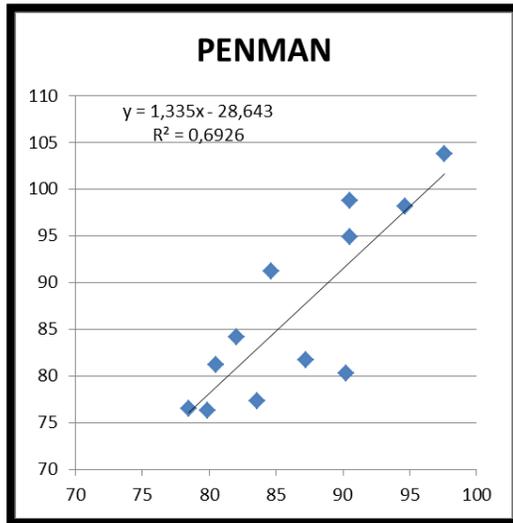
Anexo 6.2. Coeficiente de determinación evapotranspiración real Vs Penman-Monteith/Blaney and Criddle/Thornthwaite/Chistiansen/Hargreaves. Estación La Boca.



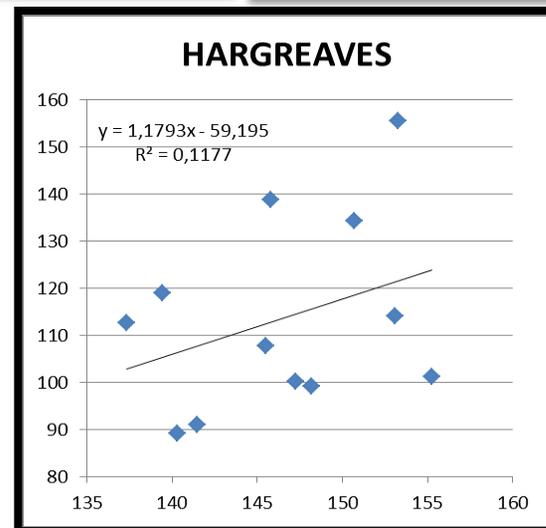
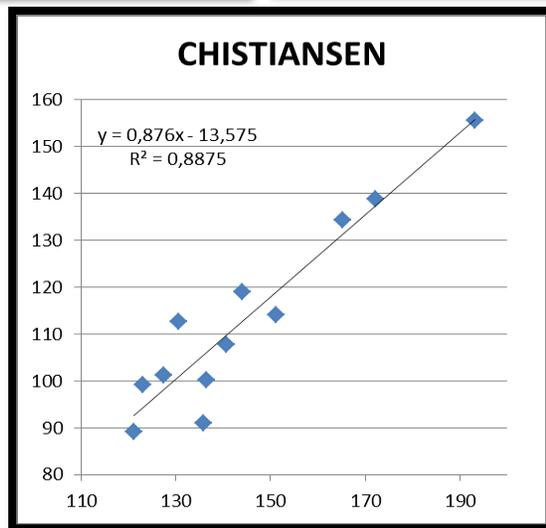
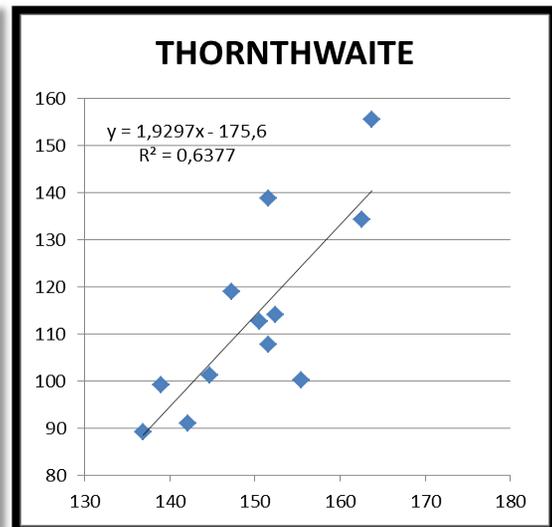
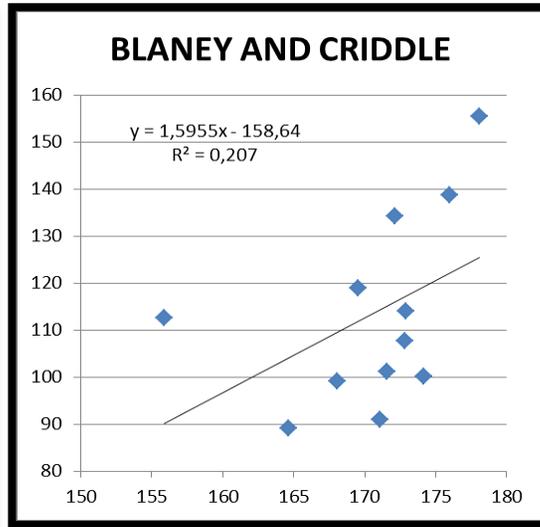
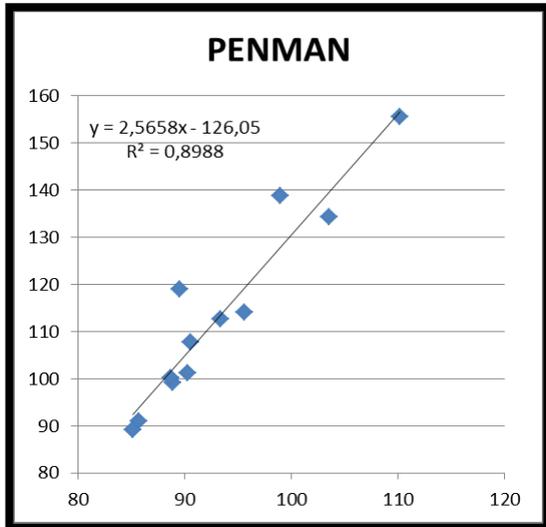
Anexo 6.3. Coeficiente de determinación evapotranspiración real Vs Penman-Monteith/Blaney and Criddle/Thorntwaite/Chistiansen/Hargreaves. Estación San José.



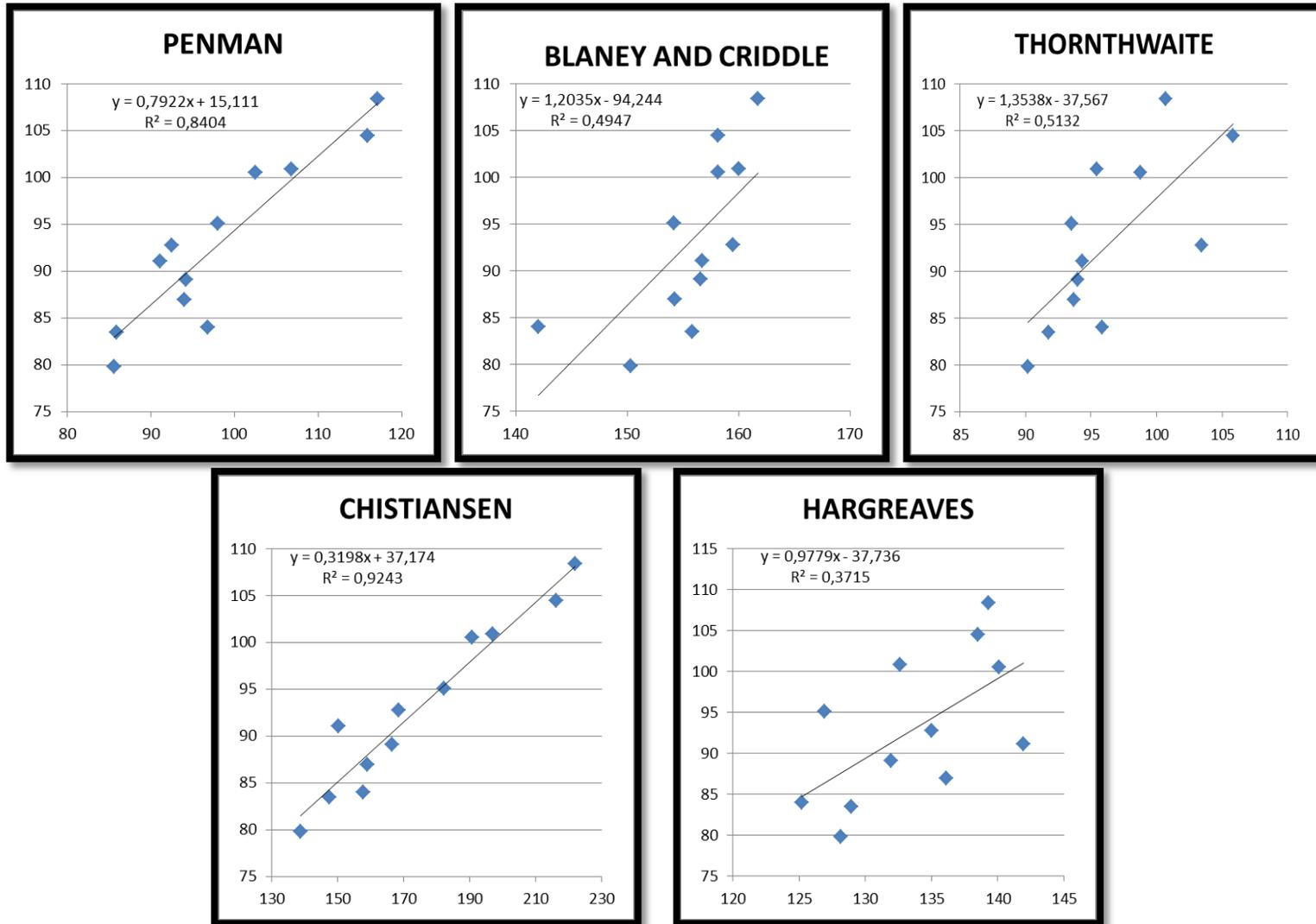
Anexo 6.4. Coeficiente de determinación evapotranspiración real Vs Penman-Monteith/Blaney and Criddle/Thorntwaite/Chistiansen/Hargreaves. Estación San Rafael.



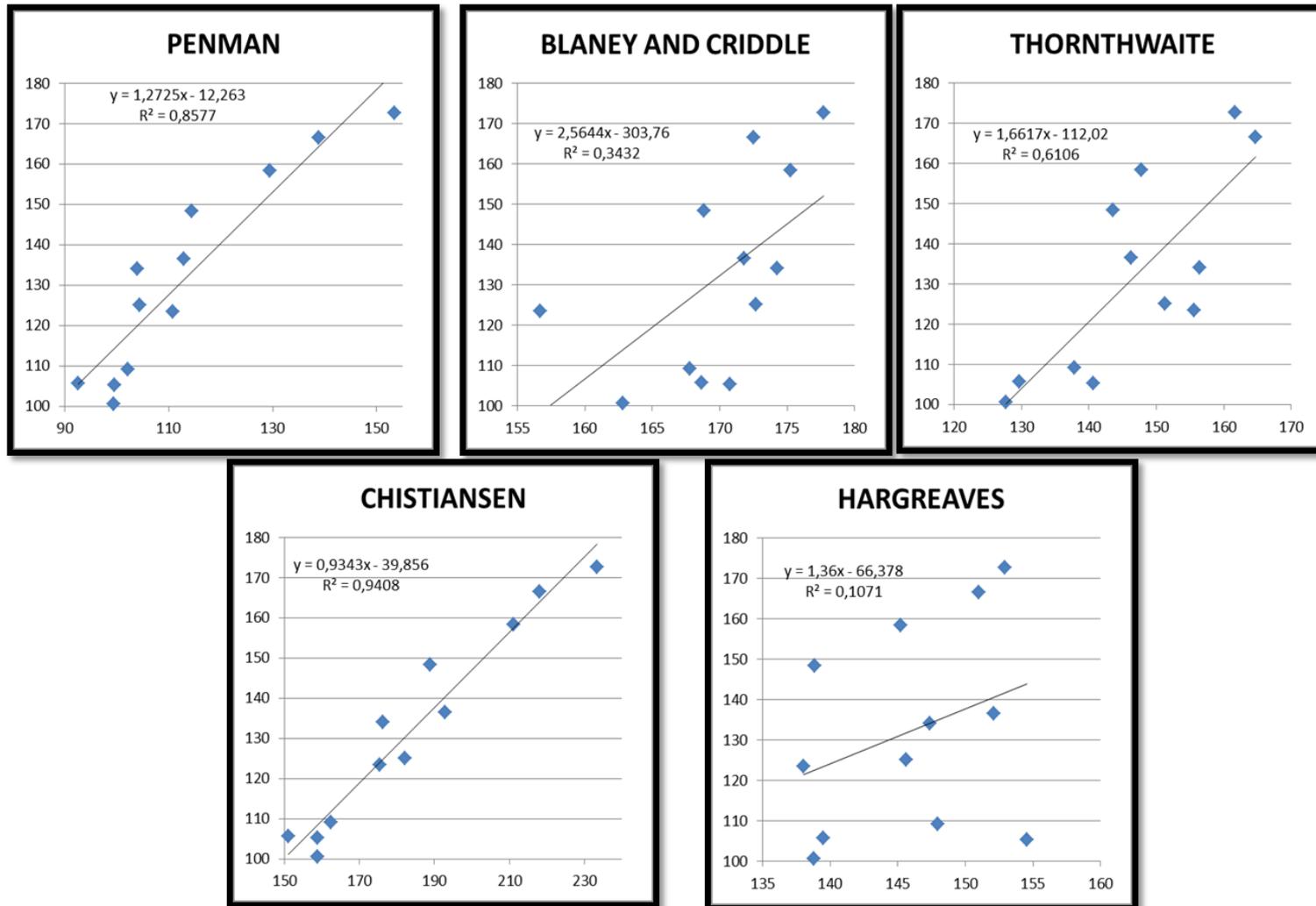
Anexo 6.5. Coeficiente de determinación evapotranspiración real Vs Penman-Monteith/Blaney and Criddle/Thorntwaite/Chistiansen/Hargreaves. Estación El Juncal.



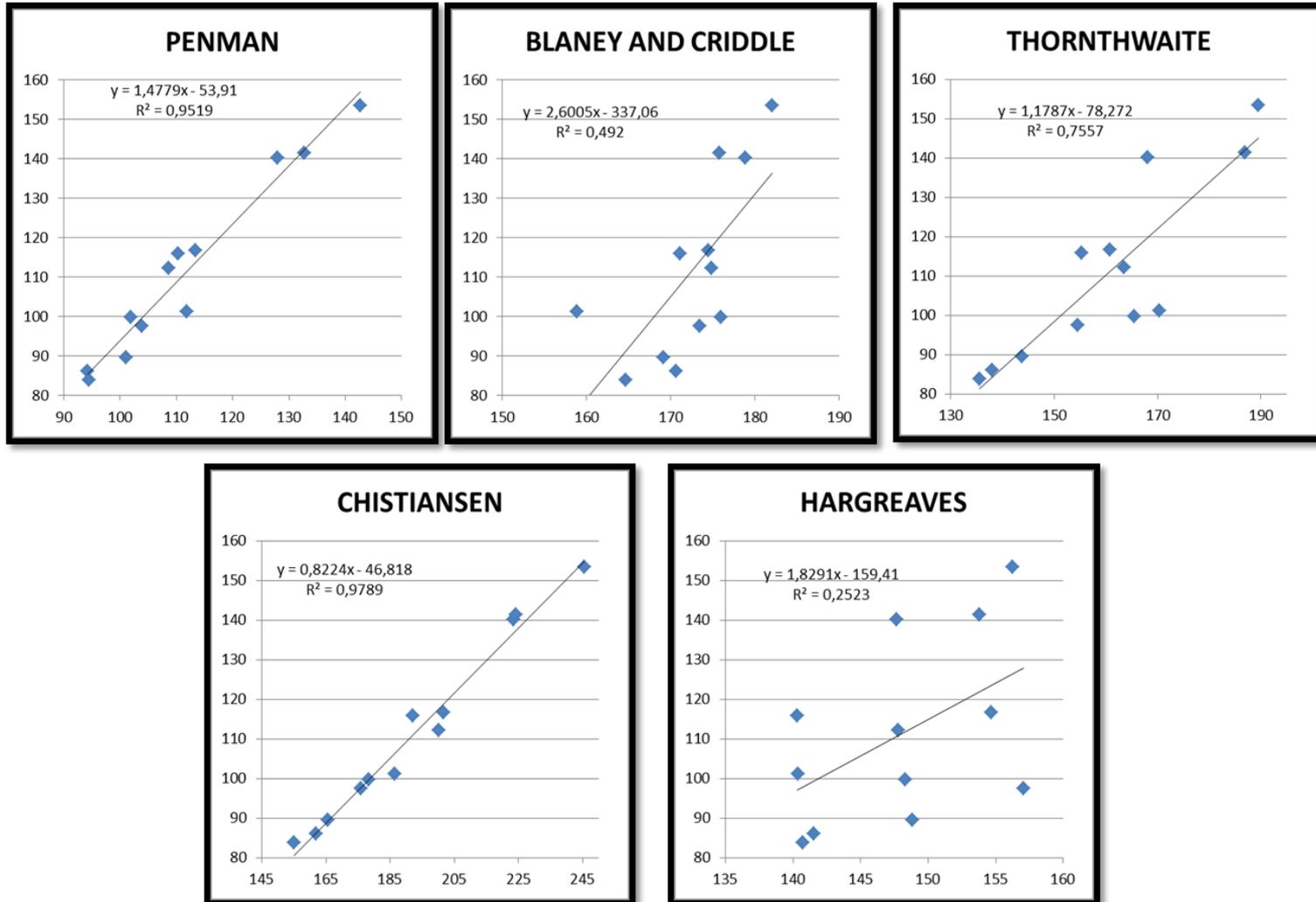
Anexo 6.6. Coeficiente de determinación evapotranspiración real Vs Penman-Monteith/Blaney and Criddle/Thornthwaite/Chistiansen/Hargreaves. Estación Iquira.



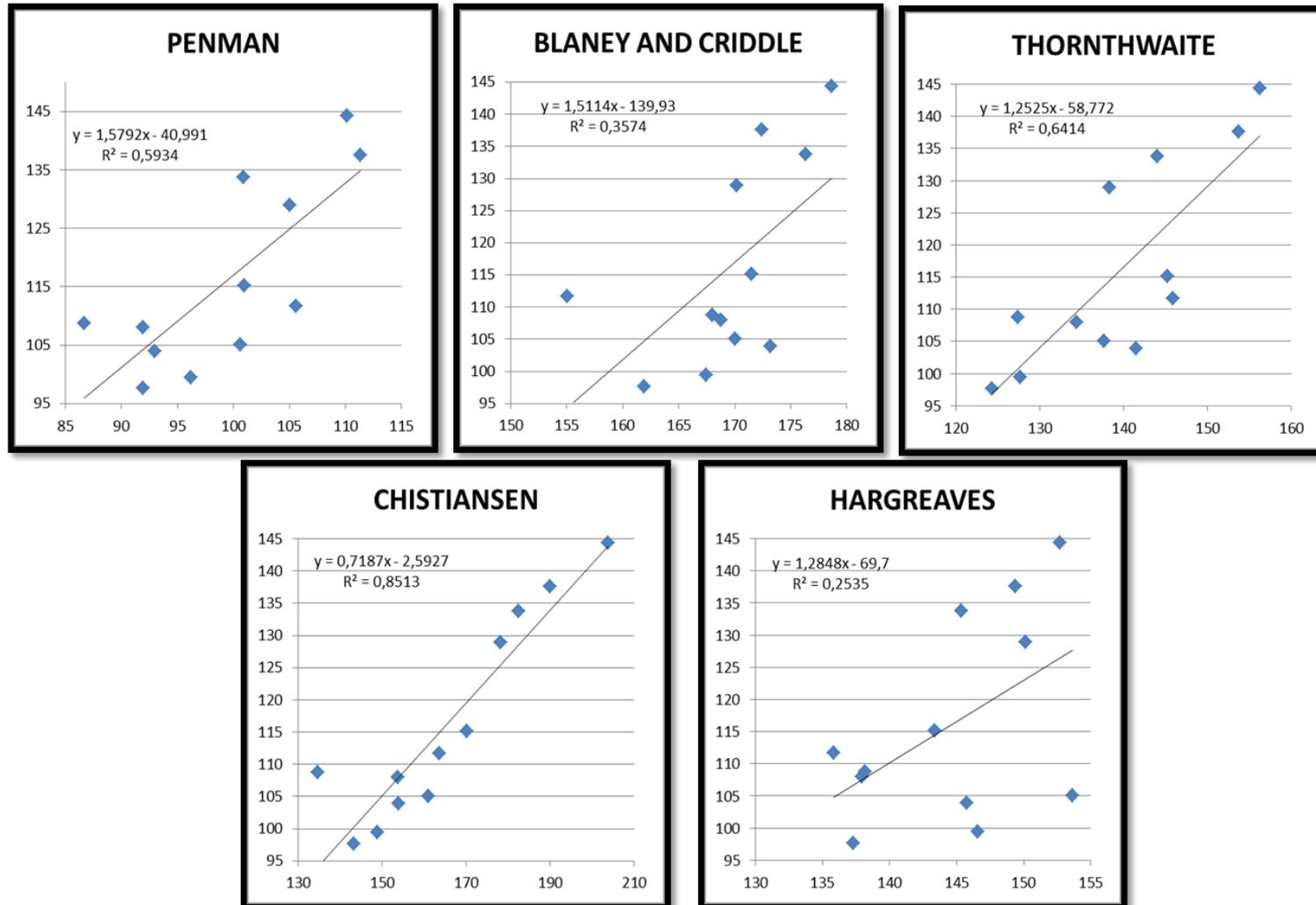
Anexo 6.7. Coeficiente de determinación evapotranspiración real Vs Penman-Monteith/Blaney and Criddle/Thorntwaite/Chistiansen/Hargreaves. Estación Hidrobetania.



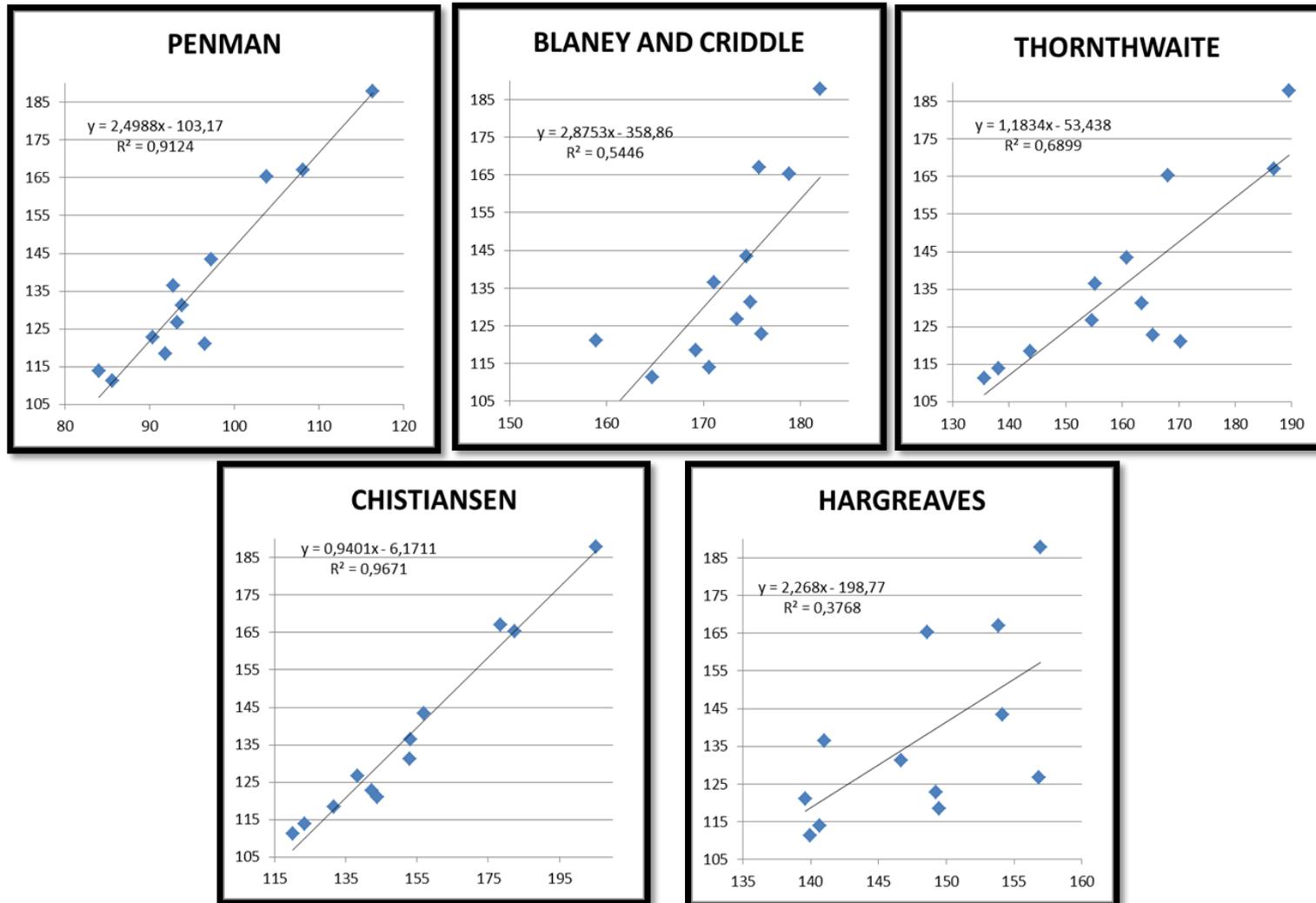
Anexo 6.8. Coeficiente de determinación evapotranspiración real Vs Penman-Monteith/Blaney and Criddle/Thorntwaite/Chistiansen/Hargreaves. Estación Los Rosales.



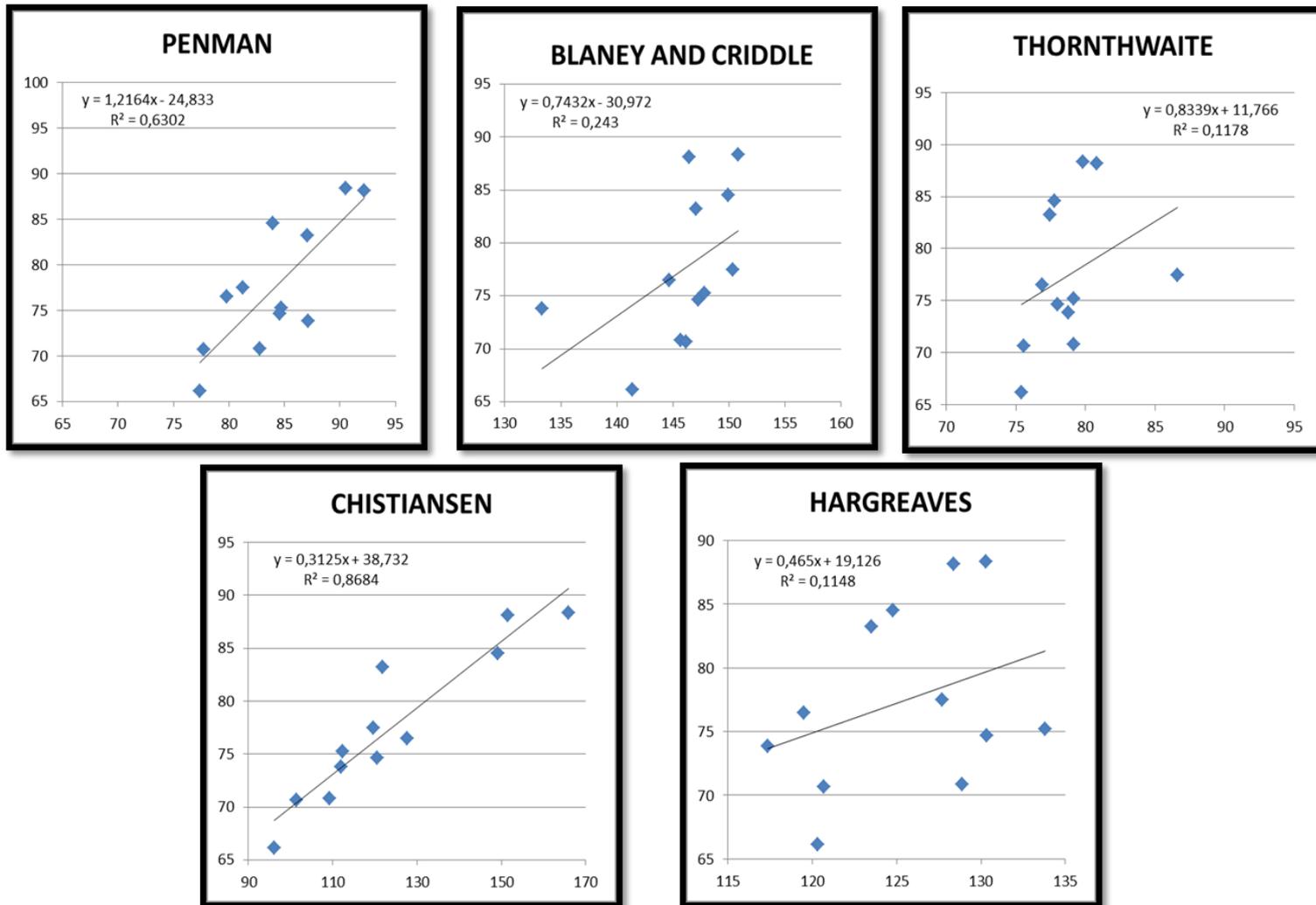
Anexo 6.9. Coeficiente de determinación evapotranspiración real Vs Penman-Monteith/Blaney and Criddle/Thorntwaite/Chistiansen/Hargreaves. Estación Hda Manilla.



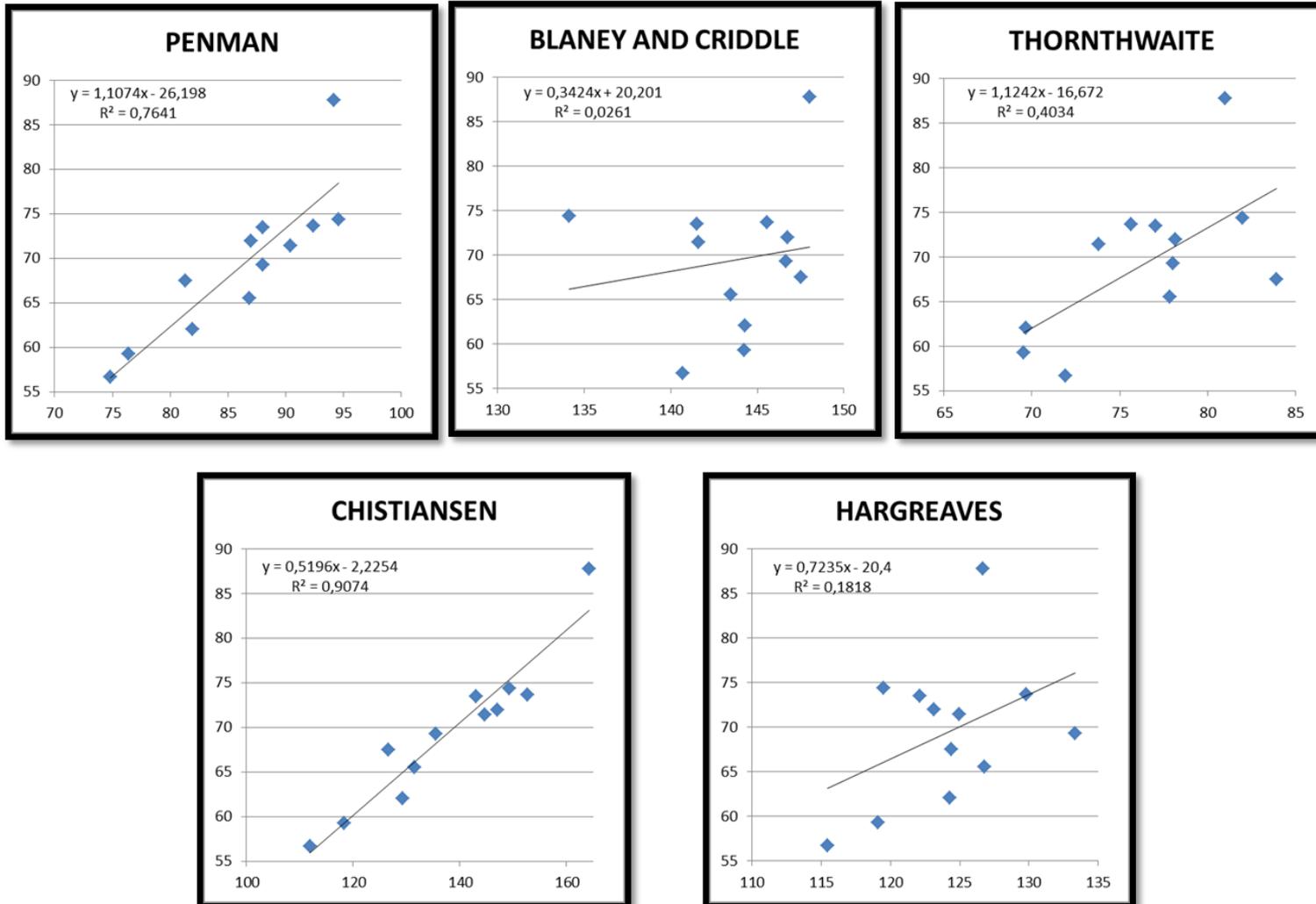
Anexo 6.10. Coeficiente de determinación evapotranspiración real Vs Penman-Monteith/Blaney and Criddle/Thorntwaite/Chistiansen/Hargreaves. Estación Apto Benito Salas.



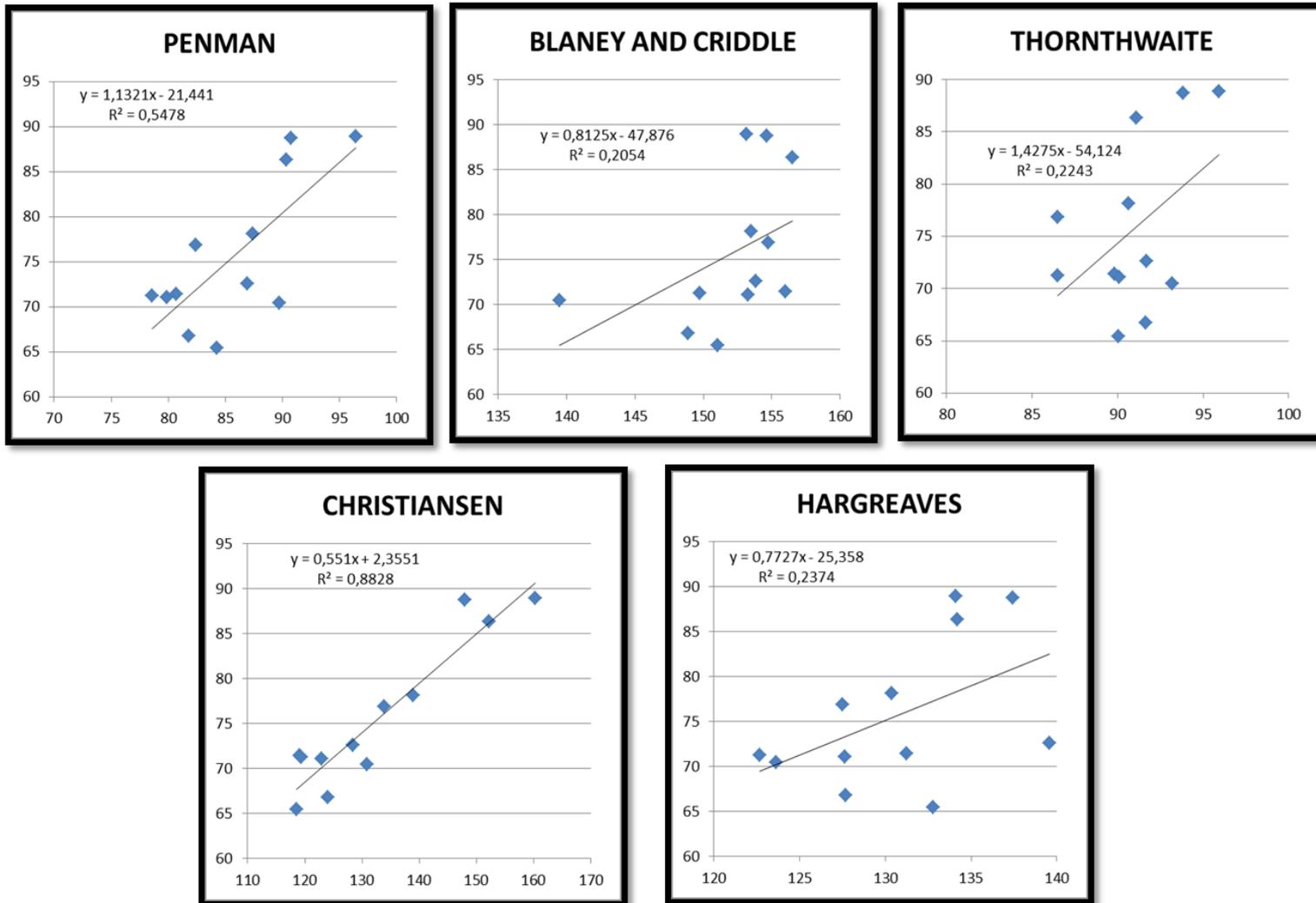
Anexo 6.11. Coeficiente de determinación evapotranspiración real Vs Penman-Monteith/Blaney and Criddle/Thornthwaite/Chistiansen/Hargreaves. Estación Santa María.



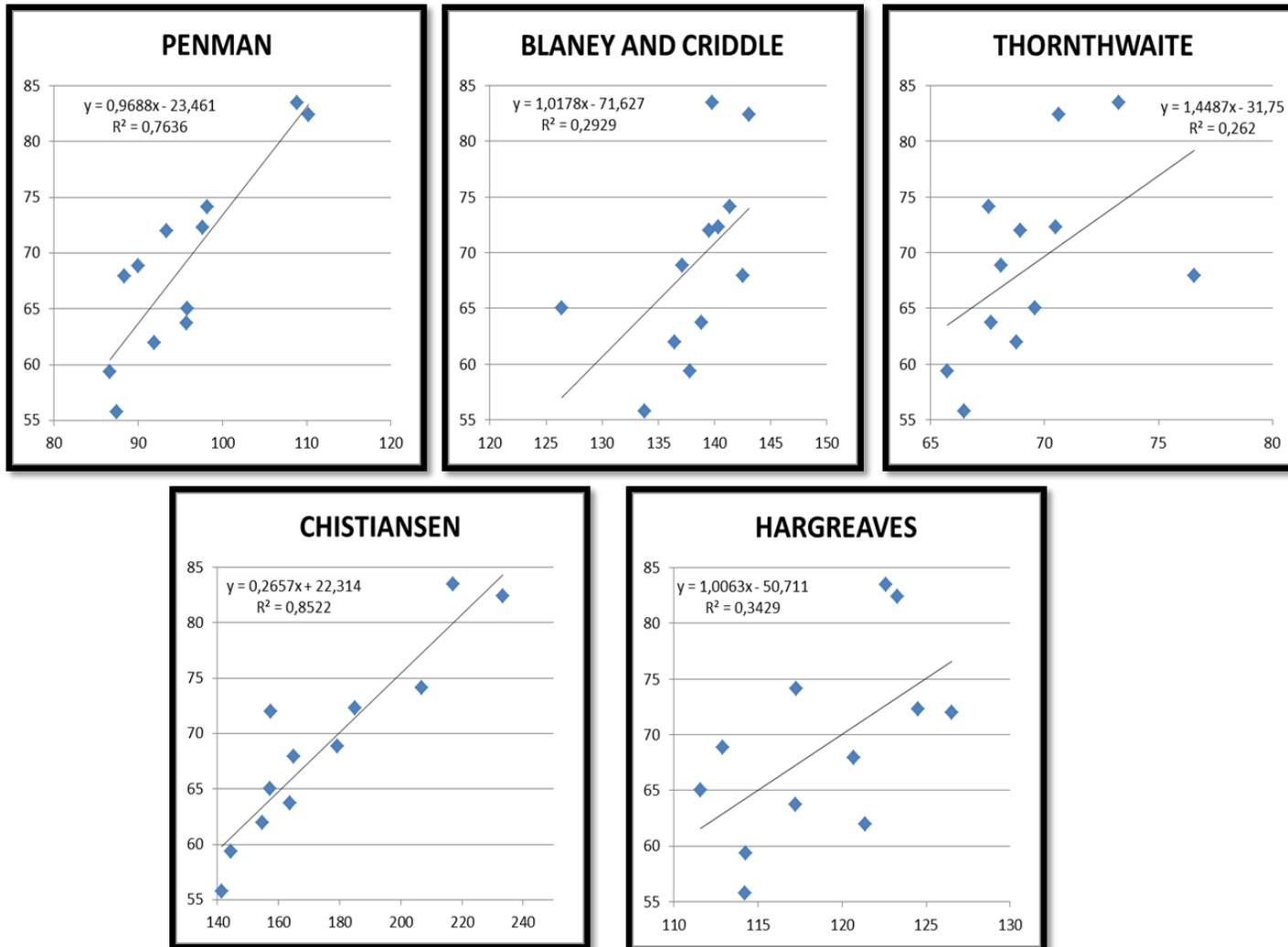
Anexo 6.12. Coeficiente de determinación evapotranspiración real Vs Penman-Monteith/Blaney and Criddle/Thorntwaite/Chistiansen/Hargreaves. Estación Sevilla.



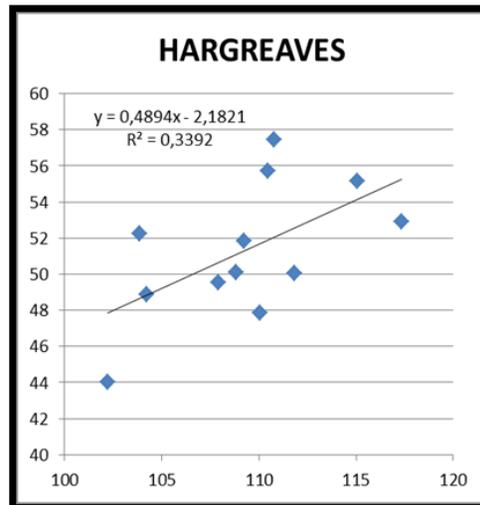
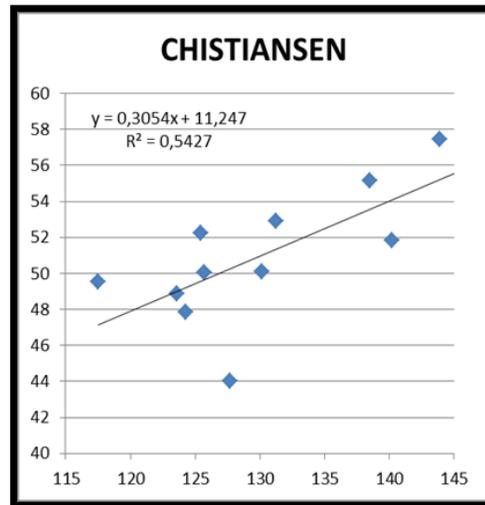
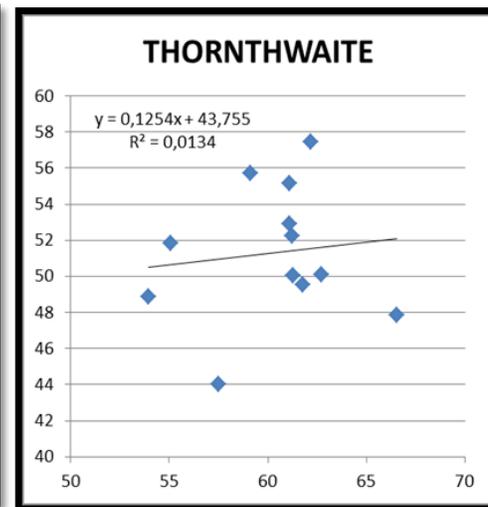
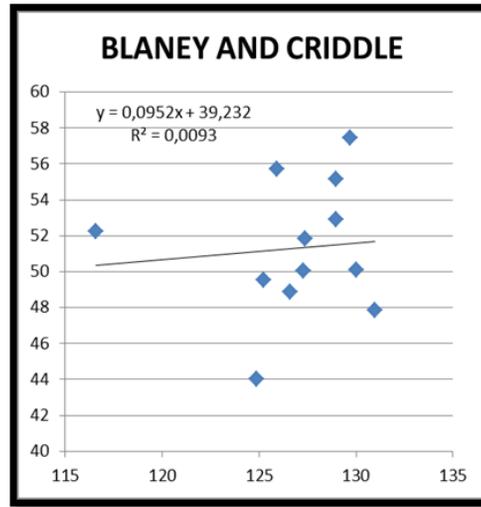
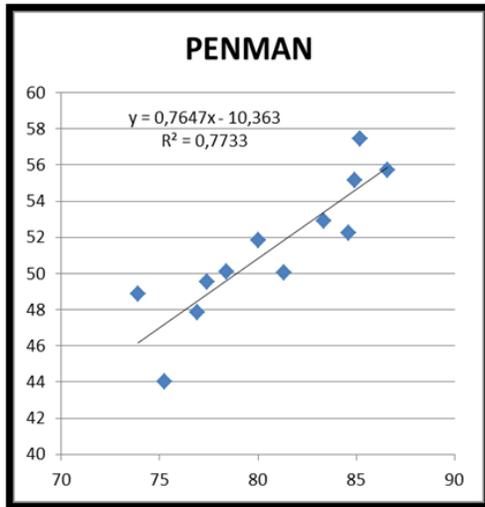
Anexo 6.13. Coeficiente de determinación evapotranspiración real Vs Penman-Monteith/Blaney and Criddle/Thorntwaite/Christiansen/Hargreaves. Estación Esc Agr La Plata.



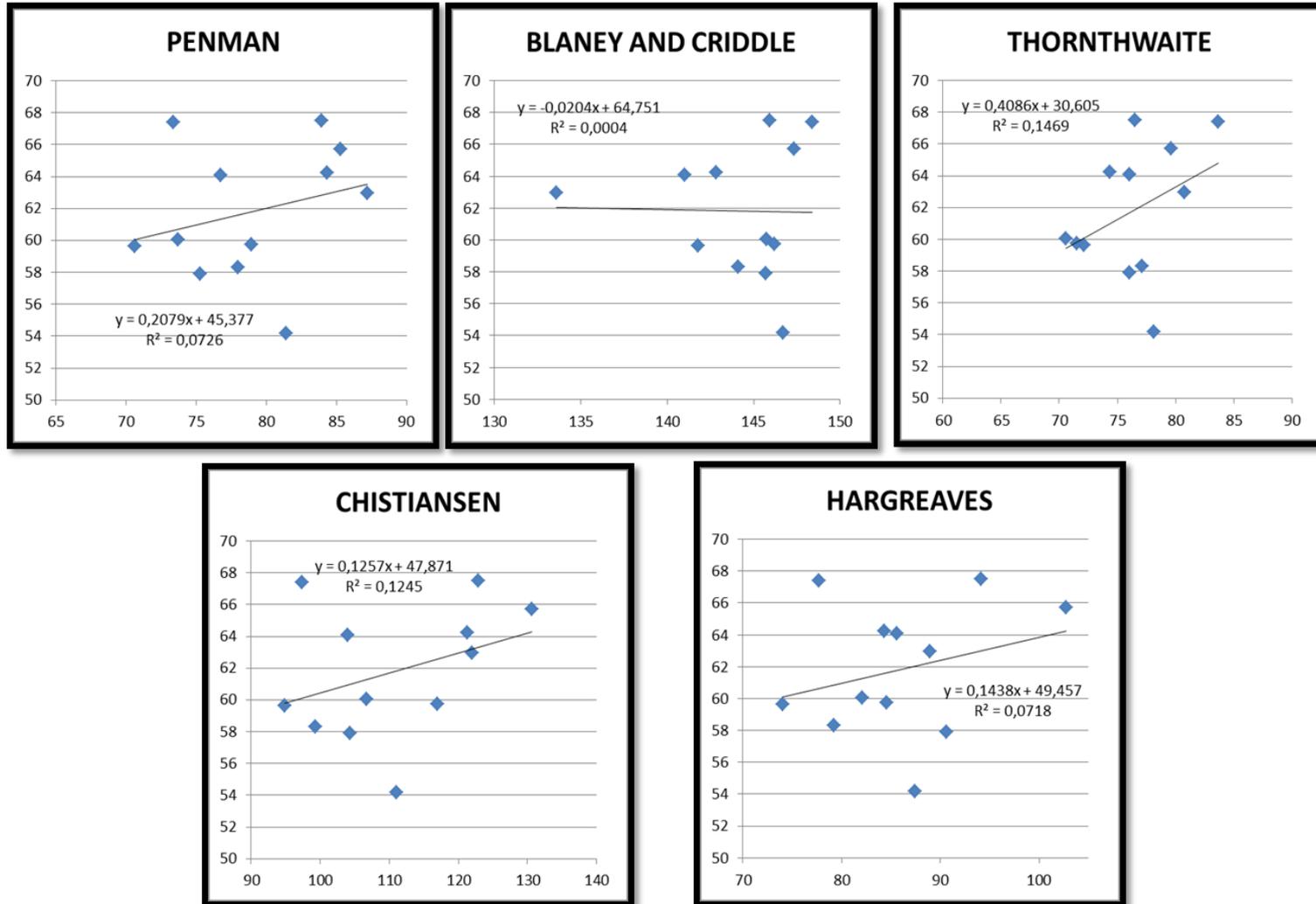
Anexo 6.14. Coeficiente de determinación evapotranspiración real Vs Penman-Monteith/Blaney and Criddle/Thorntwaite/Chistiansen/Hargreaves. Estación Terpeya.



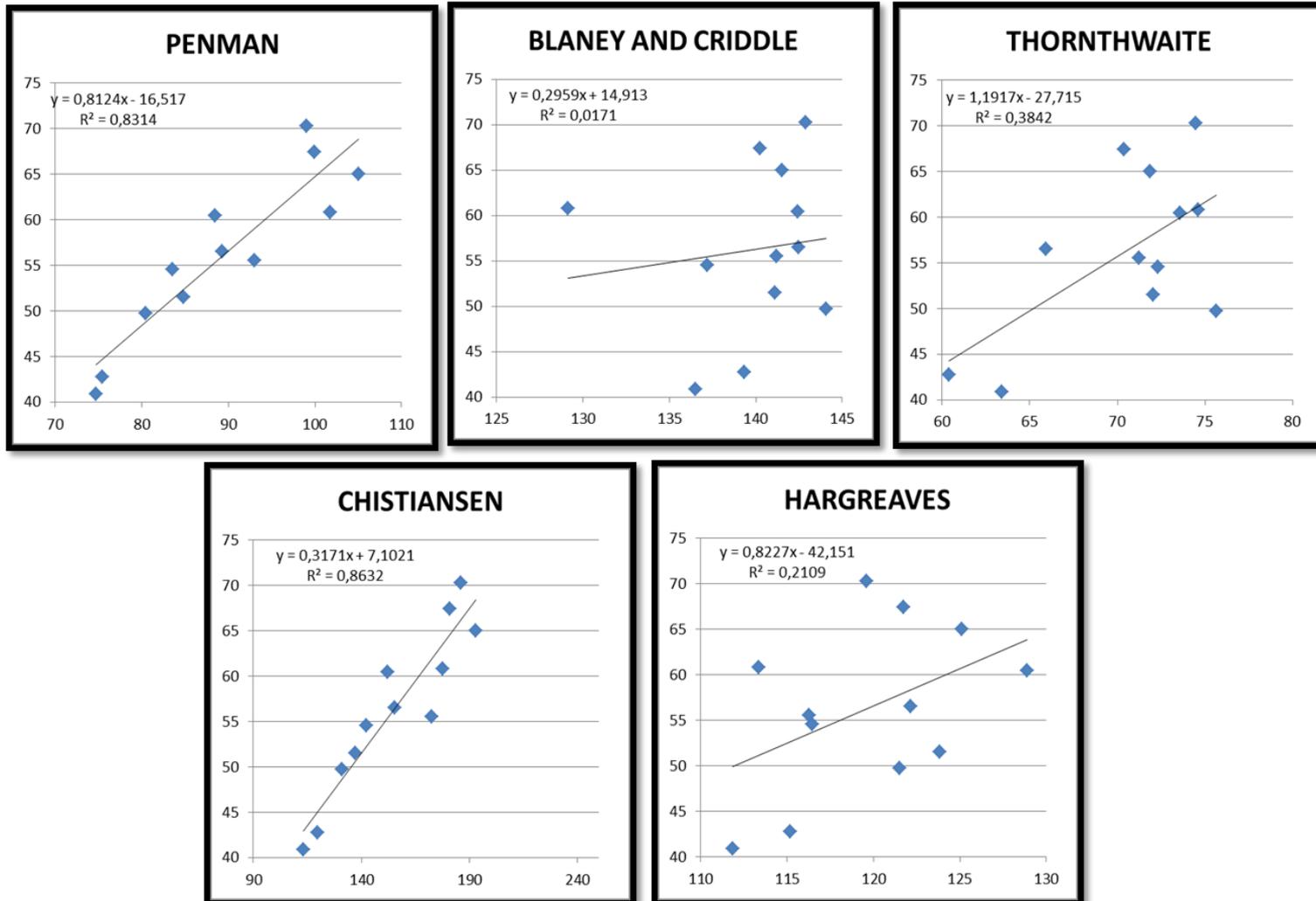
Anexo 6.15. Coeficiente de determinación evapotranspiración real Vs Penman-Monteith/Blaney and Criddle/Thorntwaite/Chistiansen/Hargreaves. Estación Resina.



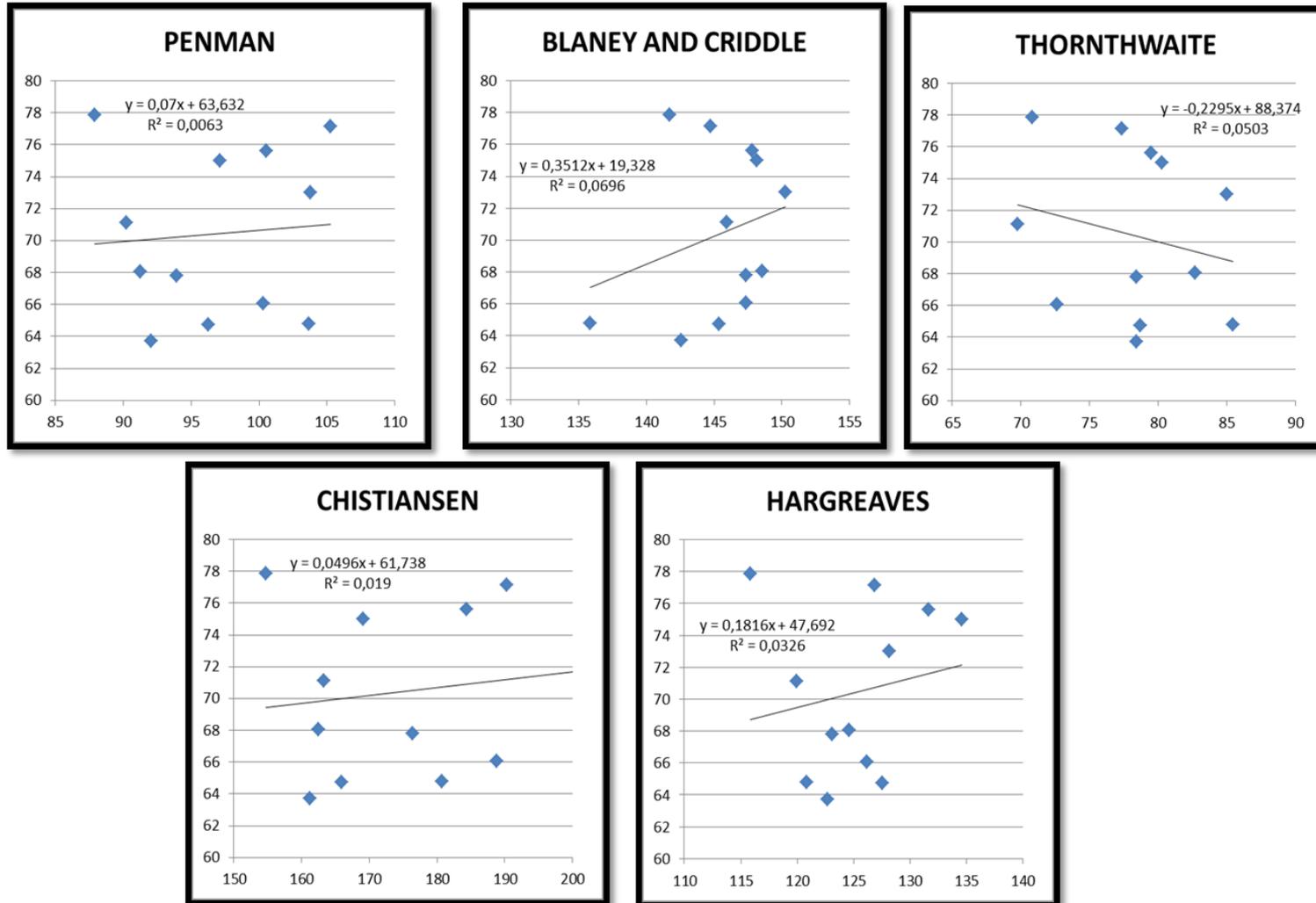
Anexo 6.16. Coeficiente de determinación evapotranspiración real Vs Penman-Monteith/Blaney and Criddle/Thorntwaite/Chistiansen/Hargreaves. Estación Zuluaga.



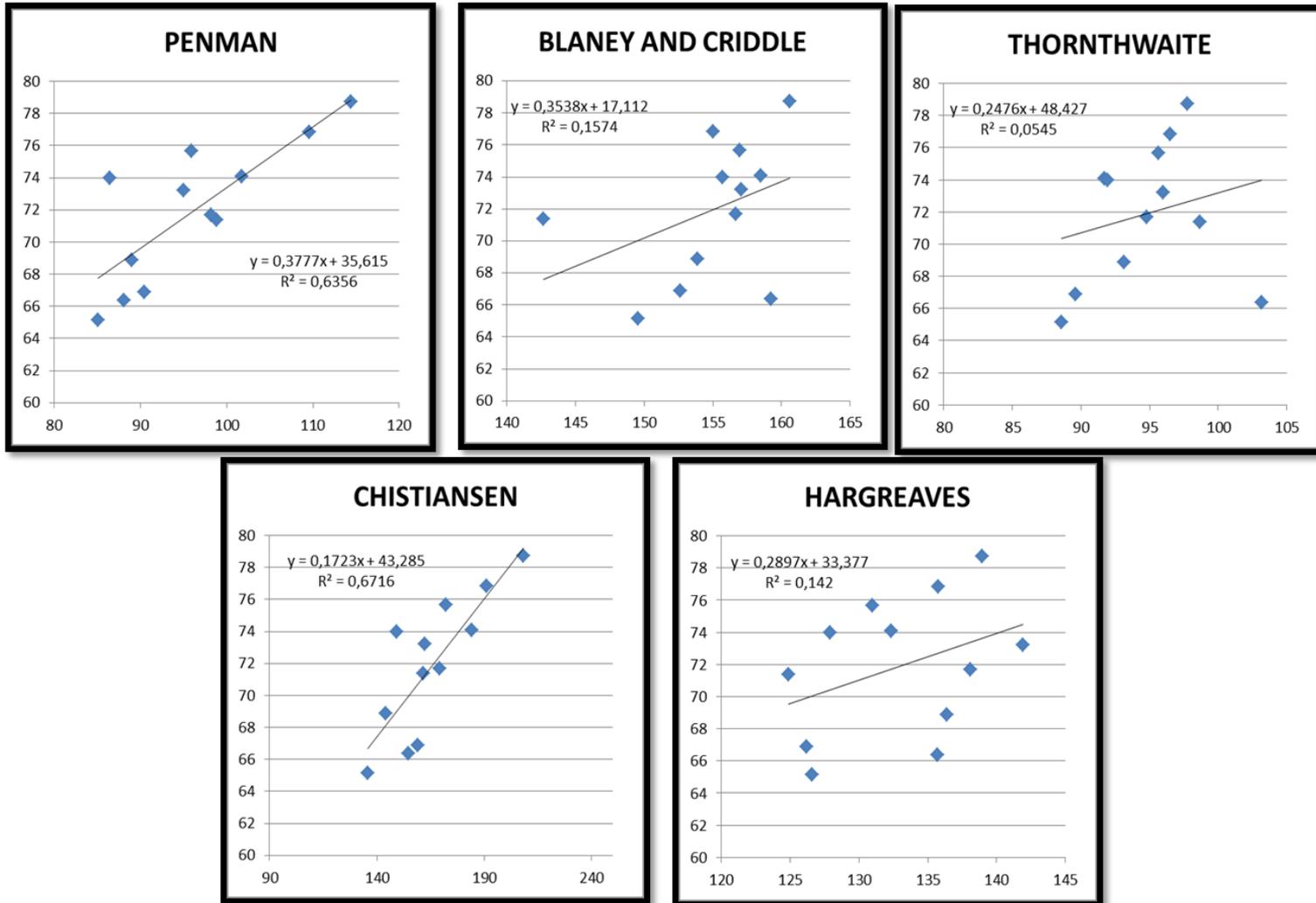
Anexo 6.17. Coeficiente de determinación evapotranspiración real Vs Penman-Monteith/Blaney and Criddle/Thornthwaite/Chistiansen/Hargreaves. Estación La Legiosa.



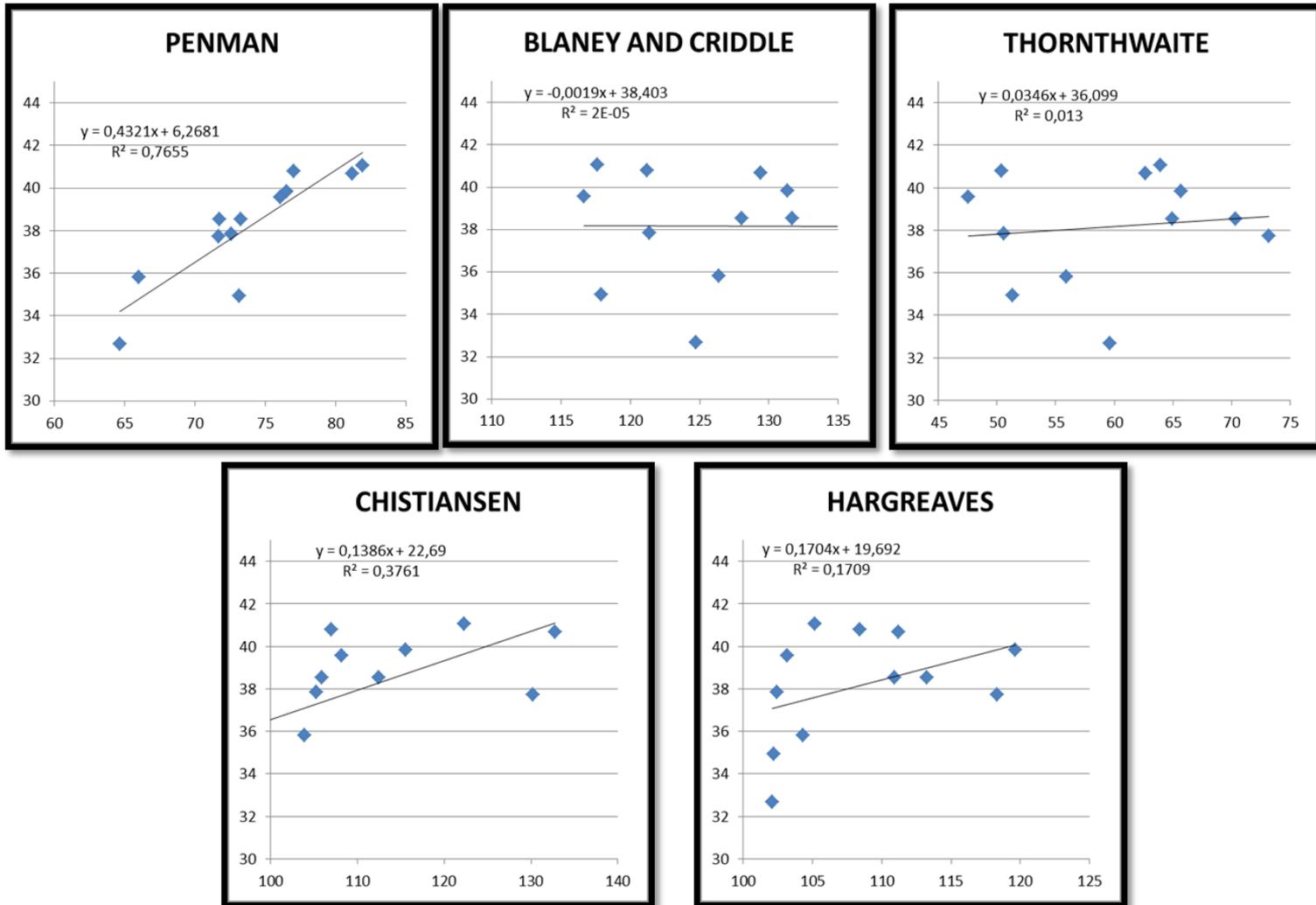
Anexo 6.18. Coeficiente de determinación evapotranspiración real Vs Penman-Monteith/Blaney and Criddle/Thorntwaite/Chistiansen/Hargreaves.
Estación El Grifo Altamira.



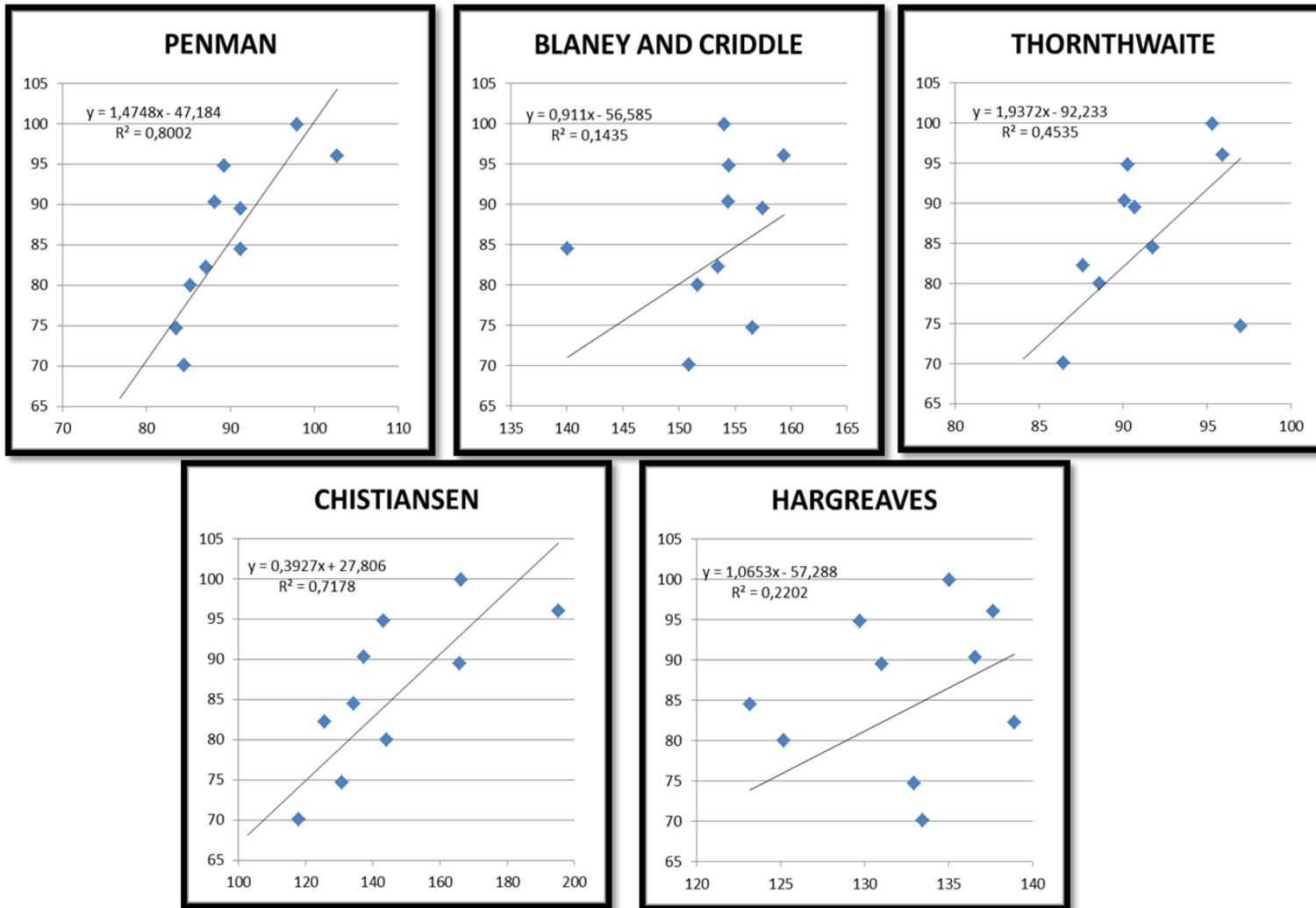
Anexo 6.19. Coeficiente de determinación evapotranspiración real Vs Penman-Monteith/Blaney and Criddle/Thorntwaite/Chistiansen/Hargreaves. Estación Algeiras.



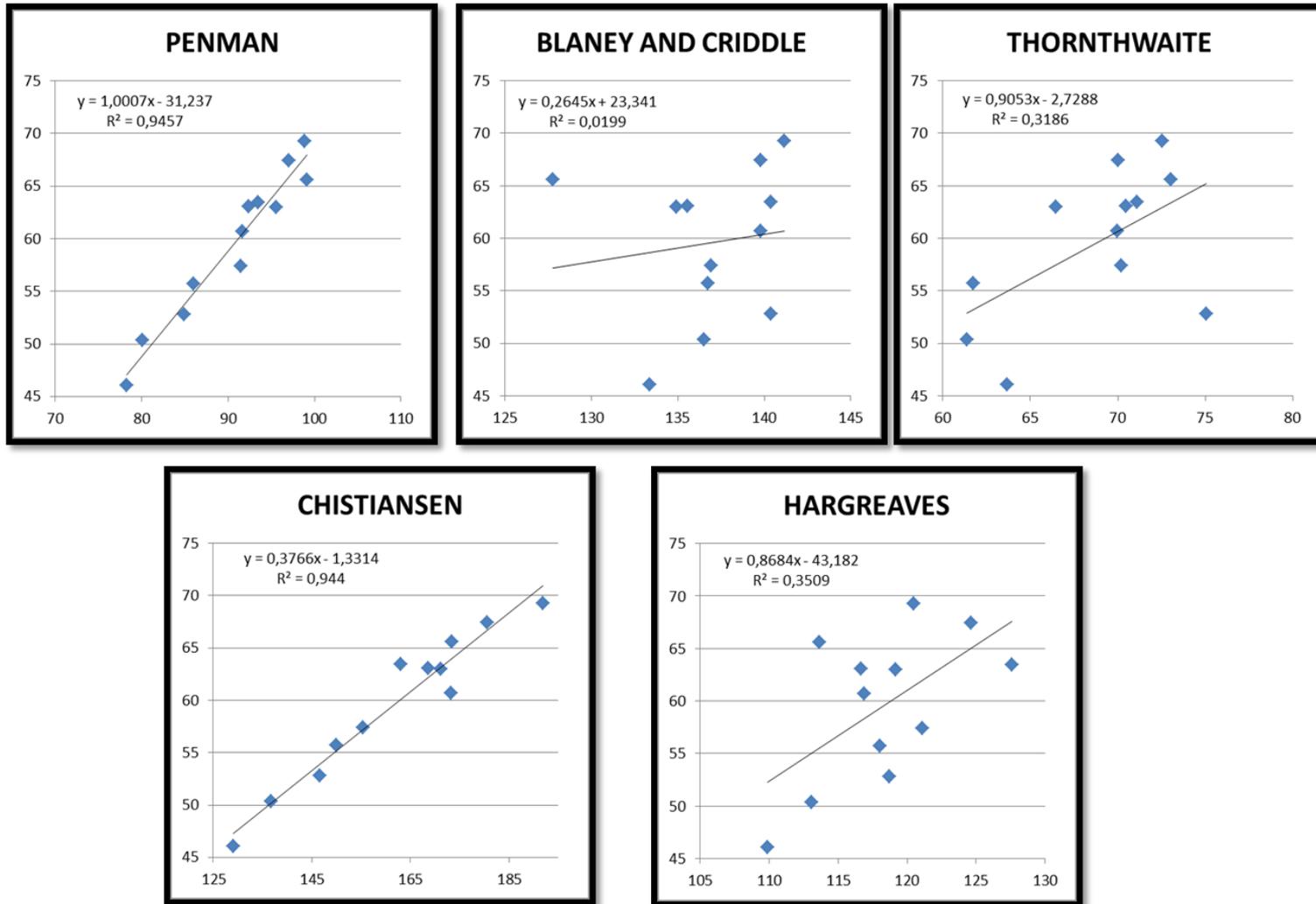
Anexo 6.20. Coeficiente de determinación evapotranspiración real Vs Penman-Monteith/Blaney and Criddle/Thorntwaite/Chistiansen/Hargreaves. Estación Cueva Los Guacharos.



Anexo 6.21. Coeficiente de determinación evapotranspiración real Vs Penman-Monteith/Blaney and Criddle/Thorntwaite/Chistiansen/Hargreaves. Estación Palacio-Vegalarga.



Anexo 6.22. Coeficiente de determinación evapotranspiración real Vs Penman-Monteith/Blaney and Criddle/Thornthwaite/Chistiansen/Hargreaves. Estación Parque Arqueológico.



Anexo 7. Calculo del balance hídrico y módulo de riego para el Distrito de Riego San Antonio-Bajo Ventanas

CÁLCULO DEL BALANCE HÍDRICO Y MODULO DE RIEGO																																							
CULTIVO	Pasto - Frutales	ÁREA																																					
		533,3 ha																																					
PARÁMETROS		UNIDAD	VALOR DECADAL (36 DÉCADAS)																																				
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	
PRECIPITACIÓN		mm	33,50	29,60	17,00	23,40	29,00	32,10	37,40	39,80	46,00	37,20	63,70	56,70	32,30	39,90	38,20	26,70	6,40	8,40	10,30	6,40	7,40	4,20	9,00	11,90	17,70	12,80	30,80	23,30	66,00	79,60	58,40	71,30	59,10	56,50	51,40	27,20	
PRECIPITACIÓN (75% PROBABILIDAD DE OCURRENCIA)		mm	0,00	6,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,00	10,00	20,00	5,00	16,00	11,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	13,00	43,00	23,00	11,00	17,00	16,00	28,00	0,00	
PRECIPITACIÓN EFECTIVA		mm	0,00	3,02	0,00	0,00	0,00	0,00	2,10	6,39	14,13	2,10	11,05	7,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,78	29,59	15,97	7,13	11,69	10,97	13,88	0,00		
ETP		mm	33,72	33,72	37,09	35,62	35,62	28,50	33,38	33,38	36,72	31,59	31,59	31,59	31,54	31,54	34,70	32,18	32,18	32,18	36,37	36,37	40,01	39,52	39,52	43,47	39,12	39,12	39,12	35,02	35,02	38,52	30,02	30,02	30,02	29,08	29,08	31,99	
Kc (COEFICIENTE DEL CULTIVO)		mm	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
Uc (USO CONSUNTIVO)		mm	10,12	10,12	11,13	10,69	10,69	8,55	10,01	10,01	11,02	9,48	9,48	9,48	18,93	18,93	20,82	19,31	19,31	19,31	21,82	21,82	24,00	23,71	23,71	26,08	23,47	23,47	23,47	21,01	21,01	23,11	18,01	18,01	18,01	17,45	17,45	19,19	
DEMANDA NETA (Precipitación efectiva - Uso Consuntivo)		mm																																					
Se debe tener en cuenta para el diseño de riego predial		mm	-10,12	-7,10	-11,13	-10,69	-10,69	-8,55	-7,91	-3,62	3,11	-7,38	1,57	-2,29	-18,93	-18,93	-20,82	-19,31	-19,31	-19,31	-21,82	-21,82	-24,00	-23,71	-23,71	-26,08	-23,47	-23,47	-23,47	-21,01	-12,23	6,48	-2,04	-10,88	-6,32	-6,48	-3,57	-19,19	
REQUERIMIENTO DE RIEGO		mm	10,12	7,10	11,13	10,69	10,69	8,55	7,91	3,62	0,00	7,38	0,00	2,29	18,93	18,93	20,82	19,31	19,31	19,31	21,82	21,82	24,00	23,71	23,71	26,08	23,47	23,47	23,47	21,01	12,23	0,00	2,04	10,88	6,32	6,48	3,57	19,19	
EFICIENCIA	CONDUCCIÓN	%	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	
	DISTRIBUCIÓN	%	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
	APLICACIÓN	%	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
DEMANDA BRUTA		mm	11,80	8,28	12,98	12,46	12,46	9,97	9,23	4,23	0,00	8,60	0,00	2,67	22,07	22,07	24,28	22,52	22,52	22,52	25,45	25,45	28,00	27,66	27,66	30,42	27,37	27,37	27,37	24,51	14,27	0,00	2,38	12,69	7,37	7,56	4,16	22,39	
JORNADA DE RIEGO		h	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00
MÓDULO DE RIEGO		lps/há	0,14	0,10	0,15	0,14	0,14	0,12	0,11	0,05	0,00	0,10	0,00	0,03	0,26	0,26	0,28	0,26	0,26	0,26	0,29	0,29	0,32	0,32	0,32	0,35	0,32	0,32	0,32	0,28	0,17	0,00	0,03	0,15	0,09	0,09	0,05	0,26	
Q DISEÑO (CAUDAL DE DISEÑO)		lps	72,83	51,09	80,11	76,94	76,94	61,55	56,98	26,10	0,00	53,10	0,00	16,46	136,26	136,26	149,88	139,01	139,01	139,01	157,10	157,10	172,81	170,71	170,71	187,78	168,96	168,96	168,96	151,27	88,07	0,00	14,69	78,33	45,50	46,65	25,70	138,18	
Modulo de riego critico		0,35	CAUDAL DE LA CONSECIÓN (lps)		187,78 lt/s																																		

Anexo 8. Simulación hidráulica distrito de riego San Antonio Bajo-Ventanas tramo K0+00 a K3+715

SIMULACION HIDRAULICA DISTRITO DE SAN ANTONIO BAJO-VENTANAS MUNICIPIO DE AIPE																														
TRAMO		Long. (m)		Longitud		Cota Terreno		DH (m)	Long. Real (m)	L total(m)	Longitud (Absisa)	REF. TUB.	PRESIÓN DE TRABAJO (M.C.A)	C. fricción	Dia. (pulg)	Tub. a instalar		Q (l/s)	Q (m³/s)	Vel (m/s)	Perdidas fricción		Cota piezometrica		Pres. disponible m.c.a		disponible PSI		Pres. Estática m.c.a	
Inicial	Final		(Absisa)	Inicial	Final																				Tipo	RDE/ Clase	Unitarias	Total	Inicial	Final
K0+00	K0+075	75,03	75,03	450,56	450,30	0,26	75,03	75,03	75,03	9	70,30	150	24	PVC	41	233,00	0,2330	0,88	0,0000	0,07	450,56	450,49	0,00	0,19	0,00	0,27	0,00	0,26		
K0+075	K0+223	148,26	150,06	450,30	450,20	0,10	75,03	75,03	150,06	9	70,30	150	24	PVC	41	233,00	0,2330	0,88	0,0000	0,07	450,49	450,42	0,19	0,22	0,27	0,31	0,26	0,36		
K0+223	K0+308	84,42	298,32	450,20	450,10	0,10	148,26	148,26	298,32	9	70,30	150	24	PVC	41	233,00	0,2330	0,88	0,0000	0,14	450,42	450,28	0,22	0,18	0,31	0,25	0,36	0,46		
K0+308	K0+390	81,90	382,74	450,10	450,00	0,10	84,42	84,42	382,74	9	70,30	150	24	PVC	41	233,00	0,2330	0,88	0,0000	0,08	450,28	450,19	0,18	0,19	0,25	0,28	0,46	0,56		
K0+390	K0+409	19,21	464,64	450,00	450,03	0,03	81,90	81,90	464,64	9	70,30	150	24	PVC	41	233,00	0,2330	0,88	0,0000	0,08	450,19	450,12	0,19	0,09	0,28	0,12	0,56	0,53		
K0+409	K0+527	118,45	483,85	450,03	447,54	2,49	19,37	19,37	484,02	9	70,30	150	24	PVC	41	233,00	0,2330	0,88	0,0000	0,02	450,12	450,10	0,09	2,56	0,12	3,64	0,53	3,02		
K0+527	K0+588	60,66	602,30	447,54	449,08	1,54	118,46	118,46	602,47	9	70,30	150	24	PVC	41	233,00	0,2330	0,88	0,0000	0,11	450,10	449,98	2,56	0,90	3,64	1,29	3,02	1,48		
K0+588	K0+696	108,48	662,96	449,08	445,67	3,41	60,76	60,76	663,23	9	70,30	150	24	PVC	41	233,00	0,2330	0,88	0,0000	0,06	449,98	449,93	0,90	4,26	1,29	6,05	1,48	4,89		
K0+696	K0+747	50,52	771,45	445,67	448,93	3,26	108,53	108,53	771,76	9	70,30	150	24	PVC	41	233,00	0,2330	0,88	0,0000	0,10	449,93	449,82	4,26	0,89	6,05	1,27	4,89	1,63		
K0+747	K0+762	15,04	821,97	448,93	447,15	1,78	50,55	50,55	822,32	9	70,30	150	24	PVC	41	233,00	0,2330	0,88	0,0000	0,05	449,82	449,77	0,89	2,62	1,27	3,73	1,63	3,41		
K0+762	K0+814	52,44	837,01	447,15	444,97	2,18	15,04	15,04	837,51	9	70,30	150	24	PVC	41	233,00	0,2330	0,88	0,0000	0,01	449,77	449,76	2,62	4,79	3,73	6,81	3,41	5,59		
K0+814	K0+897	82,78	889,44	444,97	444,09	0,88	52,44	52,44	889,96	9	70,30	150	24	PVC	41	233,00	0,2330	0,88	0,0000	0,05	449,76	449,71	4,79	5,62	6,81	7,99	5,59	6,47		
K0+897	K0+906	8,55	972,22	444,09	439,18	4,91	82,92	82,92	972,88	9	70,30	150	24	PVC	41	233,00	0,2330	0,88	0,0000	0,08	449,71	449,63	5,62	10,45	7,99	14,86	6,47	11,38		
K0+906	K0+939	33,19	980,77	439,18	443,34	4,16	9,50	9,50	982,38	9	70,30	150	24	PVC	41	233,00	0,2330	0,88	0,0000	0,01	449,63	449,62	10,45	6,28	14,86	8,93	11,38	7,22		
K0+939	K0+986	47,52	1013,96	443,34	442,76	0,58	33,20	33,20	1015,58	9	70,30	150	24	PVC	41	233,00	0,2330	0,88	0,0000	0,03	449,62	449,59	6,28	6,83	8,93	9,71	7,22	7,80		
K0+986	K1+000	6,64	1061,48	442,76	439,12	3,64	47,66	47,66	1063,24	9	70,30	150	24	PVC	41	233,00	0,2330	0,88	0,0000	0,05	449,59	449,54	6,83	10,42	9,71	14,82	7,80	11,44		
K1+000	K1+014	7,18	1068,12	439,12	441,70	2,58	7,12	7,12	1070,37	9	70,30	150	24	PVC	41	233,00	0,2330	0,88	0,0000	0,01	449,54	449,54	10,42	7,84	14,82	11,15	11,44	8,86		
K1+014	K1+023	13,81	1075,30	441,70	437,66	4,04	8,24	8,24	1078,60	9	70,30	150	24	PVC	41	233,00	0,2330	0,88	0,0000	0,01	449,54	449,53	7,84	11,87	11,15	16,88	8,86	12,90		
K1+023	K1+027	9,17	1089,11	437,66	439,08	1,42	13,88	13,88	1092,49	9	70,30	150	24	PVC	41	233,00	0,2330	0,88	0,0000	0,01	449,53	449,52	11,87	10,44	16,88	14,84	12,90	11,48		
K1+027	K1+052	4,13	1098,28	439,08	437,21	1,87	9,36	9,36	1101,85	9	70,30	150	24	PVC	41	233,00	0,2330	0,88	0,0000	0,01	449,52	449,51	10,44	12,30	14,84	17,49	11,48	13,35		
K1+052	K1+097	24,71	1102,41	437,21	442,47	5,26	6,68	6,68	1108,53	9	70,30	150	24	PVC	41	233,00	0,2330	0,88	0,0000	0,01	449,51	449,50	12,30	7,03	17,49	10,00	13,35	8,09		
K1+097	K1+101	44,77	1127,11	442,47	437,62	4,85	25,18	25,18	1133,71	9	70,30	150	24	PVC	41	233,00	0,2330	0,88	0,0000	0,02	449,50	449,48	7,03	11,86	10,00	16,86	8,09	12,94		
K1+101	K1+109	4,46	1171,88	437,62	439,84	2,22	44,82	44,82	1178,53	9	70,30	150	24	PVC	41	233,00	0,2330	0,88	0,0000	0,04	449,48	449,43	11,86	9,59	16,86	13,64	12,94	10,72		
K1+109	K1+112	7,82	1176,34	439,84	436,30	3,54	5,69	5,69	1184,22	9	70,30	150	24	PVC	41	233,00	0,2330	0,88	0,0000	0,01	449,43	449,43	9,59	13,13	13,64	16,67	10,72	14,26		
K1+112	K1+120	2,53	1184,16	436,30	439,00	2,70	8,28	8,28	1192,50	9	70,30	150	24	PVC	41	233,00	0,2330	0,88	0,0000	0,01	449,43	449,42	13,13	10,42	16,67	14,82	14,26	11,56		
K1+120	K1+127	8,66	1186,69	439,00	436,78	2,22	3,36	3,36	1195,86	9	70,30	150	24	PVC	41	233,00	0,2330	0,88	0,0000	0,00	449,42	449,42	10,42	12,64	14,82	17,97	11,56	13,78		
K1+127	K1+144	6,92	1195,34	436,78	439,24	2,46	9,00	9,00	1204,86	9	70,30	150	24	PVC	41	233,00	0,2330	0,88	0,0000	0,01	449,42	449,41	12,64	10,17	17,97	14,46	13,78	11,32		
K1+144	K1+156	17,11	1202,27	439,24	434,32	4,92	8,49	8,49	1213,35	9	70,30	150	24	PVC	41	233,00	0,2330	0,88	0,0000	0,01	449,41	449,40	10,17	15,08	14,46	21,45	11,32	16,24		
K1+156	K1+170	11,86	1219,37	434,32	438,02	3,70	17,50	17,50	1230,86	9	70,30	150	24	PVC	41	233,00	0,2330	0,88	0,0000	0,02	449,40	449,38	15,08	11,36	21,45	16,16	16,24	12,54		
K1+170	K1+172	13,70	1231,24	438,02	432,85	5,17	12,94	12,94	1243,80	9	70,30	150	24	PVC	41	233,00	0,2330	0,88	0,0000	0,01	449,38	449,37	11,36	16,52	16,16	23,49	12,54	17,71		
K1+172	K1+176	1,81	1244,94	432,85	438,03	5,18	14,65	14,65	1258,45	9	70,30	150	24	PVC	41	233,00	0,2330	0,88	0,0000	0,01	449,37	449,36	16,52	11,33	23,49	16,11	17,71	12,53		
K1+176	K1+197	4,74	1246,75	438,03	430,91	7,12	7,35	7,35	1265,79	9	70,30	150	24	PVC	41	233,00	0,2330	0,88	0,0000	0,01	449,36	449,35	11,33	18,44	16,11	26,22	12,53	19,65		
K1+197	K1+210	20,15	1251,49	430,91	430,91	0,00	4,74	4,74	1270,53	9	70,30	150	24	PVC	41	233,00	0,2330	0,88	0,0000	0,00	449,35	449,35	18,44	18,44	26,22	26,22	19,65	19,65		
K1+210	K1+266	13,46	1271,64	430,91	438,54	7,63	21,54	21,54	1292,08	9	70,30	150	24	PVC	41	233,00	0,2330	0,88	0,0000	0,02	449,35	449,33	18,44	10,79	26,22	15,34	19,65	12,02		
K1+266	K1+304	56,29	1285,10	438,54	438,82	0,28	13,46	13,46	1305,54	9	70,30	150	24	PVC	41	233,00	0,2330	0,88	0,0000	0,01	449,33	449,31	10,79	10,49	15,34	14,92	12,02	11,04		
K1+304	K1+344	37,76	1341,39	438,82	440,25	1,43	56,31	56,31	1361,85	9	70,30	150	24	PVC	41	233,00	0,2330	0,88	0,0000	0,05	449,31	449,26	10,49	9,01	14,92	12,81	11,74	10,31		
K1+344	K1+392	39,42	1379,15	440,25	436,72	3,53	37,93	37,93	1399,78	9	70,30	150	24	PVC	41	233,00	0,2330	0,88	0,0000	0,04	440,25	440,21	9,01	12,50	12,81	17,78	10,31	13,84		
K1+392	K1+528	48,70	1418,57	436,72	437,72	1,00	39,43	39,43	1439,21	9	70,30	150	24	PVC	41	233,00	0,2330	0,88	0,0000	0,04	440,21	440,18	12,50	11,47	17,78	16,30	13,84	12,84		
K1+528	K1+537	16,14	1467,27	437,72	431,43	6,29	49,11	49,11	1488,31	9	70,30	150	24	PVC	41	233,00	0,2330	0,88	0,0000	0,05	440,18	440,13	11,47	17,71	16,30	25,18	12,84	19,13		
K1+537	K1+625	8,82	1503,41	431,43	434,17	2,74	136,17	136,17	1624,48	9	70,30	150	24	PVC	41	233,00	0,2330	0,88	0,0000	0,13	440,13	440,00	17,71	14,84	25,18	21,10	19,13	16,39		
K1+625	K1+844	87,77	1612,23	434,17	427,80	6,37	10,88	10,88	1635,36	9	70,30	150	24	PVC	41	233,00	0,2330	0,88	0,0000	0,01	440,00	439,99	14,84	21,20	21,10	30,14	16,39	22,76		
K1+844	K1+926	218,73	1700,00	427,80	425,65	2,15	87,80	87,80	1723,16	9	70,30	150</																		

Anexo 8. Continuación simulación hidráulica distrito de riego San Antonio Bajo-Ventanas tramo K0+00 a K3+715

K1+926	K1+958	8195	1918,73	425,65	431,86	6,21	218,81	218,81	1941,97	19	70,30	150	24	PVC	41	233,00	0,2330	0,88	0,0010	0,21	425,65	425,44	23,26	16,85	33,08	23,95	24,91	16,70
K1+958	K2+024	3196	2000,68	431,86	427,11	4,75	82,09	82,09	2024,06	19	70,30	150	24	PVC	41	233,00	0,2330	0,88	0,0010	0,08	425,44	425,36	16,85	21,52	23,95	30,60	16,70	23,45
K2+024	K2+078	66,03	2032,64	427,11	434,46	7,35	32,80	32,80	2056,85	19	70,30	150	24	PVC	41	233,00	0,2330	0,88	0,0010	0,03	425,36	425,33	21,52	14,14	30,60	20,10	23,45	16,10
K2+078	K2+191	54,72	2098,66	434,46	437,94	3,48	66,12	66,12	2122,97	19	70,30	150	24	PVC	41	233,00	0,2330	0,88	0,0010	0,06	425,33	425,27	14,14	10,59	20,10	15,06	16,10	12,62
K2+191	K2+212	12,18	2153,39	437,94	426,18	11,76	55,97	55,97	2178,94	19	70,30	150	24	PVC	41	233,00	0,2330	0,88	0,0010	0,05	425,27	425,21	10,59	22,30	15,06	31,71	12,62	24,38
K2+212	K2+296	2121	2265,57	426,18	432,74	6,56	12,37	12,37	2291,32	19	70,30	150	24	PVC	41	233,00	0,0350	0,88	0,0010	0,11	425,21	425,11	22,30	15,63	31,71	22,23	24,38	17,82
K2+296	K2+307	84,39	2286,78	432,74	431,64	1,10	21,24	21,24	2312,56	19	70,30	150	24	PVC	41	233,00	0,0350	0,88	0,0010	0,02	425,11	425,09	15,63	16,71	22,23	23,76	17,82	18,92
K2+307	K2+426	1127	2371,17	431,64	428,05	3,59	84,46	84,46	2397,03	19	70,30	150	24	PVC	41	233,00	0,0350	0,88	0,0010	0,08	425,09	425,01	16,71	20,22	23,76	28,75	18,92	22,51
K2+426	K2+434	18,95	2382,44	428,05	439,04	10,99	15,74	15,74	2412,77	19	70,30	150	24	PVC	410	233,00	0,0350	0,88	0,0010	0,02	425,01	424,99	20,22	9,22	28,75	13,11	22,51	11,52
K2+434	K2+4516	7,76	2501,39	439,04	427,90	11,14	119,47	119,47	2532,24	19	70,30	150	24	PVC	41	233,00	0,0350	0,88	0,0010	0,11	424,99	424,88	9,22	20,24	13,11	28,78	11,52	22,66
K2+4516	K2+4559	81,37	2509,15	427,90	432,77	4,87	9,16	9,16	2541,40	19	70,30	150	24	PVC	41	233,00	0,0350	0,88	0,0010	0,01	424,88	424,87	20,24	15,36	28,78	21,85	22,66	17,79
K2+4559	K2+4685	43,95	2590,53	432,77	438,17	5,40	81,55	81,55	2622,95	19	70,30	150	24	PVC	41	233,00	0,0350	0,88	0,0010	0,08	424,87	424,79	15,36	9,89	21,85	14,06	17,79	12,39
K2+4685	K2+4717	125,89	2634,47	438,17	434,17	4,00	44,13	44,13	2667,08	19	70,30	150	24	PVC	41	233,00	0,0350	0,88	0,0010	0,04	424,79	424,75	9,89	13,84	14,06	19,69	12,39	16,39
K2+4717	K2+4784	31,57	2760,37	434,17	435,88	1,71	125,90	125,90	2792,99	19	70,30	150	24	PVC	41	233,00	0,0350	0,88	0,0010	0,12	424,75	424,63	13,84	12,01	19,69	17,08	16,39	14,68
K2+4784	K2+4804	67,51	2791,94	435,88	433,72	2,16	31,65	31,65	2824,63	19	70,30	150	24	PVC	41	233,00	0,0350	0,88	0,0010	0,03	424,63	424,60	12,01	14,14	17,08	20,11	14,68	16,84
K2+4804	K2+4853	19,34	2859,45	433,72	429,74	3,98	67,62	67,62	2892,26	19	70,30	150	24	PVC	41	233,00	0,0350	0,88	0,0010	0,06	424,60	424,53	14,14	18,06	20,11	25,68	16,84	20,82
K2+4853	K2+4952	48,74	2878,79	429,74	431,61	1,87	19,43	19,43	2911,69	19	70,30	150	24	PVC	41	233,00	0,0350	0,88	0,0010	0,02	424,53	424,52	18,06	16,17	25,68	22,99	20,82	18,95
K2+4952	K3+010	99,28	2927,53	431,61	428,23	3,38	48,86	48,86	2960,55	19	70,30	150	24	PVC	41	233,00	0,0350	0,88	0,0010	0,05	424,52	424,47	16,17	19,50	22,99	27,73	18,95	22,33
K3+010	K3+086	58,01	3026,81	428,23	429,30	1,07	99,28	99,28	3059,83	19	70,30	150	24	PVC	41	233,00	0,0350	0,88	0,0010	0,09	424,47	424,37	19,50	18,34	27,73	26,08	22,33	21,26
K3+086	K3+139	76,36	3084,81	429,30	426,58	2,72	58,07	58,07	3117,90	19	70,30	150	24	PVC	41	233,00	0,0350	0,88	0,0010	0,06	424,37	424,32	18,34	21,00	26,08	29,87	21,26	23,98
K3+139	K3+188	52,60	3161,17	426,58	428,53	1,95	76,38	76,38	3194,28	19	70,30	150	24	PVC	41	233,00	0,0350	0,88	0,0010	0,07	424,32	424,25	21,00	18,98	29,87	26,99	23,98	22,03
K3+188	K3+237	49,38	3213,77	428,53	427,03	1,50	52,62	52,62	3246,90	19	70,30	150	24	PVC	41	233,00	0,0350	0,88	0,0010	0,05	424,25	424,20	18,98	20,43	26,99	29,05	22,03	23,53
K3+237	K3+293	49,28	3263,15	427,03	428,98	1,95	49,41	49,41	3296,32	19	70,30	150	24	PVC	41	233,00	0,0350	0,88	0,0010	0,05	424,20	424,15	20,43	18,43	29,05	26,21	23,53	21,58
K3+293	K3+324	55,33	3312,43	428,98	422,58	6,40	49,70	49,70	3346,02	19	70,30	150	24	PVC	41	233,00	0,0350	0,88	0,0010	0,05	424,15	424,10	18,43	24,79	26,21	35,24	21,58	27,98
K3+324	K3+368	31,44	3367,76	422,58	425,90	3,32	55,43	55,43	3401,44	19	70,30	150	24	PVC	41	233,00	0,0350	0,88	0,0010	0,05	422,58	422,53	24,79	21,41	35,24	30,45	27,98	24,66
K3+368	K3+435	43,92	3399,20	425,90	423,87	2,03	31,51	31,51	3432,95	19	70,30	150	24	PVC	41	233,00	0,0350	0,88	0,0010	0,03	422,53	422,50	21,41	23,41	30,45	33,29	24,66	26,69
K3+435	K3+443	66,40	3443,12	423,87	429,74	5,87	44,31	44,31	3477,27	19	70,30	150	24	PVC	41	233,00	0,0350	0,88	0,0010	0,04	422,50	422,45	23,41	17,50	33,29	24,88	26,69	20,82
K3+443	K3+644	108,32	3509,52	429,74	421,50	8,24	66,91	66,91	3544,18	19	70,30	150	24	PVC	41	233,00	0,0350	0,88	0,0010	0,06	422,45	422,39	17,50	25,68	24,88	36,51	20,82	29,06
K3+644	K3+715	101,11	3617,84	421,50	424,86	3,36	108,37	108,37	3652,55	19	70,30	150	24	PVC	41	233,00	0,0350	0,88	0,0010	0,10	422,39	422,29	25,68	22,21	36,51	31,59	29,06	25,70