UNIVERSIDAD NACIONAL

"SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO"

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERA AGRÍCOLA

MODELOS PARA ESTIMAR LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA CON LAS ECUACIONES DE HARGREAVES Y TURC, RESPECTO DE LA ECUACIÓN ESTÁNDAR PENMAN MONTEITH. SECTOR MATAQUITA-JANGAS-HUARAZ 2013

PRESENTADO POR:

Bach. CHACPI CERNA, Lizeth Karol.

Asesor:

Dr. APARICIO ROQUE Fidel G.

HUARAZ – ANCASH – PERÚ

2019

UNIVERSIDAD NACIONAL
SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO
"Una nueva Universidad para el Desarrollo"

REPOSITORIO
INSTITUCIONAL
UNASAM

Dirección del Instituto de Investigación

FORMATO DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN DE TESIS Y TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN, PARA OPTAR GRADOS ACADÉMICOS Y TÍTULOS PROFESIONALES EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DIGITAL - UNASAM

Conforme al Reglamento del Repositorio Nacional de Trabajos de Investigación – RENATI.
Resolución del Consejo Directivo de SUNEDU N° 033-2016-SUNEDU/CD

1. Datos del Autor:

Apellidos y Nombres: Chacpi Cerna Lizeth Karol

Código de alumno: 102.0304.290 Teléfono: 993887488

Correo electrónico: Liseth_1710@hotmail.com DNI o Extranjería: 46752269

2. Modalidad de trabajo de investigación:

( ) Trabajo de investigación ( ) Trabajo académico

( ) Trabajo de suficiencia profesional (X) Tesis

3. Título profesional o grado académico:

(X) Bachiller ( ) Título ( ) Segunda especialidad

( ) Licenciado ( ) Magister ( ) Doctor

4. Título del trabajo de investigación:

Modelos para estimar la evapotranspiración de referencia con las ecuaciones de Hargreaves y Turc, respecto de la ecuación estándar Penman-Monteith. Sector Mataquita-Jangas-Huaraz 2013

5. Facultad de: Ciencias Agrarias

6. Escuela, Carrera o Programa: Ingeniería Agrícola

7. Asesor:

Apellidos y Nombres: Aparicio Roque Fidel Gregorio Teléfono: 945122204

Correo electrónico: Fgar_58@hotmail.com DNI o Extranjería: 31672306

A través de este medio autorizo a la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, publicar el trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Institucional Digital, Repositorio Nacional Digital de Acceso Libre (ALICIA) y el Registro Nacional de Trabajos de Investigación (RENATI).

Asimismo, por la presente dejo constancia que los documentos entregados a la UNASAM, versión impresa y digital, son las versiones finales del trabajo sustentado y aprobado por el jurado y son de autoría del suscrito en estricto respeto de la legislación en materia de propiedad intelectual.

Firma: .....

D.N.I.: 46752269

FECHA: 09 / 10 / 2019

UNIVERSIDAD NACIONAL
SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO
"Una Nueva Universidad para el Desarrollo"
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CIUDAD UNIVERSITARIA DE SHANCAYÁN TELEFAX 043 426 588 - HUARAZ - ANCASH - PERÚ

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los Miembros del Jurado de Tesis que suscriben, reunidos para escuchar y evaluar la sustentación de Tesis presentado por la Bachiller en Ciencias de la Ingeniería Agrícola **LIZETH KAROL CHACPI CERNA**, denominado: **"MODELOS PARA ESTIMAR LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA CON LAS ECUACIONES DE HARGREAVES Y TURC, RESPECTO DE LA ECUACIÓN ESTÁNDAR PENMAN-MONTEITH, SECTOR MATAQUITA-JANGAS-HUARAZ 2013",** Escuchada la sustentación y las respuestas a las preguntas y observaciones formuladas, la declaramos:

APROBADO CON DISTINCION

CON EL CALIFICATIVO (*)

DIECIOCHO (18)

En consecuencia, queda en condición de ser calificado **APTO** por el Consejo de Facultad de Ciencias Agrarias y por el Consejo Universitario de la Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo" y recibir el Título de **INGENIERA AGRICOLA** de conformidad con la Ley Universitaria y el Estatuto de la Universidad.

Huaraz, 10 de Setiembre del 2019

PhD. LORENZO MOISÉS AYORA GARAGATE
PRESIDENTE

Ing. FRANCISCO ESPINOZA MANCISIDOR
SECRETARIO

Ing.M.Sc. JAVIER ALBERTO COTOS VERA
VOCAL

Dr. FIDEL GREGORIO APARICIO ROQUE
Patrocinador

(*) De acuerdo con el Reglamento de Tesis, estás deben ser calificadas con términos de: **APROBADO CON EXCELENCIA** (19 – 20), **APROBADO CON DISTINCIÓN** (17 – 18), **APROBADO** (14 -16), **DESAPROBADO** (00 – 13).

ACTA DE CONFORMIDAD DE TESIS

Los miembros del jurado, luego de evaluar la tesis denominada: **"MODELOS PARA ESTIMAR LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA CON LAS ECUACIONES DE HARGREAVES Y TURC, RESPECTO DE LA ECUACIÓN ESTÁNDAR PENMAN-MONTEITH. SECTOR MATAQUITA-JANGAS-HUARAZ 2013",** presentada por la Bachiller en Ciencias de la Ingeniería Agrícola **LIZETH KAROL CHACPI CERNA,** y sustentada el día 10 de Setiembre del 2019, por Resolución Decanatural N°357-2019-UNASAM-FCA/D, la declaramos CONFORME.

Huaraz, 10 de Setiembre del 2019

PhD. Lorenzo Moisés Ayora Garagate
PRESIDENTE

Ing. Francisco Espinoza Mancisidor
SECRETARIO

Ing.M.Sc. Javier Alberto Cotos Vera
VOCAL

Dr. Fidel Gregorio Aparicio Roque
PATROCINADOR

DEDICATORIA

A mi hijita Luciana Mercedes, a mis padres Veneranda y Rubén.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por permitir este logro e iluminarme en este camino para llegar a la meta.

A la Universidad Nacional “Santiago Antúnez de Mayolo”, Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola.

A mi madre Odilia Veneranda por todo el apoyo incondicional y a mi padre Rubén Eusebio que en todo momento me motivo a ser una gran profesional.

Al Dr. Ing. Fidel Gregorio Aparicio Roque, por las orientaciones, conocimientos y experiencias que contribuyeron a la culminación del presente trabajo de investigación.

A mis jurados de tesis: PhD. Lorenzo Moises Ayora Garagate, Ing. Francisco Espinoza Mancisidor e Ing. Javier Alberto Cotos Vera, por sus aportes, sugerencias y correciones.

LISTA DE CONTENIDOS

PORTADA i

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS ii

ACTA DE CONFORMIDAD DE TESIS iii

DEDICATORIA iv

AGRADECIMIENTO v

LISTA DE CONTENIDOS vi

ÍNDICE vii

LISTA DE TABLAS ix

LISTA DE FIGURAS xiii

LISTA DE ECUACIONES xvi

RESUMEN xviii

ABSTRACT xix

ÍNDICE

CAPITULO I 1

I. INTRODUCCIÓN 1

1.1. Objetivos 2

Objetivo General 2

Objetivos Específicos 2

CAPÍTULO II 3

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA 3

2.1 Antecedentes del tema 3

2.2 Marco conceptual 4

2.3. Definición de términos 18

CAPÍTULO III 19

III. MATERIALES Y MÉTODOS 19

3.1. Descripción de la zona de estudio 19

3.2. Materiales 19

3.2.1. Información recopilada 19

3.2.2. Equipos 19

3.2.3. Programas de cómputo 20

3.3. Métodos 20

3.3.1 Tipo de investigación 20

3.3.2 Diseño de la investigación 20

3.3.3 Modelos de la investigación 20

3.3.4 Método 20

3.3.5 Población 21

3.3.6 Tamaño de muestra 21

3.3.7 Procedimiento 21

3.3.8 Análisis estadístico de la información. 31
CAPITULO IV 33
IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES 33
4.1. Resultados 33
4.2. Discusiones 74
CAPITULO V 84
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 84
5.1. Conclusiones 84
5.2. Recomendaciones 86
CAPITULO VI 87
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 87
CAPITULO VII 89
VII. ANEXO 89

LISTA DE TABLAS

Pag.

TABLA 1. Cálculo de la Evapotranspiración de Referencia ETo Método Penman Monteith (PM), Hargreaves (H) y Turc(T), Estación Meteorológica Mina-Mataquita-Jangas, periodo: 2004-2013, mes de Enero 35
TABLA 2. Cálculo de la Evapotranspiración de Referencia ETo Método Penman Monteith (PM), Hargreaves (H) y Turc (T), Estación Meteorológica Mina-Mataquita-Jangas, periodo: 2004-2013, mes de Febrero..... 36
TABLA 3. Cálculo de la Evapotranspiración de Referencia ETo Método Penman Monteith (PM), Hargreaves (H) y Turc (T), Estación Meteorológica Mina-Mataquita-Jangas, periodo: 2004-2013, mes de Marzo..... 37
TABLA 4. Cálculo de la Evapotranspiración de Referencia ETo Método Penman Monteith (PM), Hargreaves (H) y Turc (T), Estación Meteorológica Mina-Mataquita-Jangas, periodo: 2004-2013, mes de Abril..... 38
TABLA 5. Cálculo de la Evapotranspiración de Referencia ETo Método Penman Monteith (PM), Hargreaves (H) y Turc (T), Estación Meteorológica Mina-Mataquita-Jangas, periodo: 2004-2013, mes de Mayo..... 39
TABLA 6. Cálculo de la Evapotranspiración de Referencia ETo Método Penman Monteith (PM), Hargreaves (H) y Turc (T), Estación Meteorológica Mina-Mataquita-Jangas, periodo: 2004-2013, mes de Junio 40
TABLA 7. Cálculo de la Evapotranspiración de Referencia ETo Método Penman Monteith (PM), Hargreaves (H) y Turc (T), Estación Meteorológica Mina-Mataquita-Jangas, periodo: 2004-2013, mes de Julio 41
TABLA 8. Cálculo de la Evapotranspiración de Referencia ETo Método Penman Monteith (PM), Hargreaves (H) y Turc (T), Estación Meteorológica Mina-Mataquita-Jangas, periodo: 2004-2013, mes de Agosto 42
TABLA 9. Cálculo de la Evapotranspiración de Referencia ETo Método Penman Monteith (PM), Hargreaves (H) y Turc (T), Estación Meteorológica Mina-Mataquita-Jangas, periodo: 2004-2013, mes de Setiembre..... 43
TABLA 10. Cálculo de la Evapotranspiración de Referencia ETo Método Penman Monteith (PM), Hargreaves (H) y Turc (T), Estación Meteorológica Mina-Mataquita-Jangas, periodo: 2004-2013, mes de Octubre 44

TABLA 11. Cálculo de la Evapotranspiración de Referencia ETo Método Penman Monteith (PM), Hargreaves (H) y Turc (T), Estación Meteorológica Mina-Mataquita-Jangas, periodo: 2004-2013, mes de Noviembre 45
TABLA 12. Cálculo de la Evapotranspiración de Referencia ETo Método Penman Monteith (PM), Hargreaves (H) y Turc (T), Estación Meteorológica Mina-Mataquita-Jangas, periodo: 2004-2013, mes de Diciembre 46
TABLA 13. Evapotranspiración de Referencia .. (ETo) Método Penman Monteith (PM), Hargreaves (H) y Hargreaves Calibrado (HC), periodo: 2004-2013, mes de enero. 59
TABLA 14. Evapotranspiración de Referencia .. (ETo) Método Penman Monteith (PM), Hargreaves (H) y Hargreaves Calibrado (HC), periodo: 2004-2013, mes de febrero. 59
TABLA 15. Evapotranspiración de Referencia .. (ETo) Método Penman Monteith (PM), Hargreaves (H) y Hargreaves Calibrado (HC), periodo: 2004-2013, mes de marzo 60
TABLA 16. Evapotranspiración de Referencia .. (ETo) Método Penman Monteith (PM), Hargreaves (H) y Hargreaves Calibrado (HC), periodo: 2004-2013, mes de abril. 60
TABLA 17. Evapotranspiración de Referencia .. (ETo) Método Penman Monteith (PM), Hargreaves (H) y Hargreaves Calibrado (HC), periodo: 2004-2013, mes de mayo. 61
TABLA 18. Evapotranspiración de Referencia .. (ETo) Método Penman Monteith (PM), Hargreaves (H) y Hargreaves Calibrado (HC), periodo: 2004-2013, mes de Junio. 61
TABLA 19. Evapotranspiración de Referencia .. (ETo) Método Penman Monteith (PM), Hargreaves (H) y Hargreaves Calibrado (HC), periodo: 2004-2013, mes de julio. 62
TABLA 20. Evapotranspiración de Referencia .. (ETo) Método Penman Monteith (PM), Hargreaves (H) y Hargreaves Calibrado (HC), periodo: 2004-2013, mes de agosto. 62
TABLA 21. Evapotranspiración de Referencia .. (ETo) Método Penman Monteith (PM), Hargreaves (H) y Hargreaves Calibrado (HC), periodo: 2004-2013, mes de setiembre..... 63
TABLA 22. Evapotranspiración de Referencia .. (ETo) Método Penman Monteith (PM), Hargreaves (H) y Hargreaves Calibrado (HC), periodo: 2004-2013, mes de octubre. 63

TABLA 23. Evapotranspiración de Referencia .. (ETo) Método Penman Monteith (PM), Hargreaves (H) y Hargreaves Calibrado (HC), periodo: 2004-2013, mes de noviembre 64
TABLA 24. Evapotranspiración de Referencia .. (ETo) Método Penman Monteith (PM), Hargreaves (H) y Hargreaves Calibrado (HC), periodo: 2004-2013, mes de diciembre. 64
TABLA 25. Evapotranspiración de Referencia .. (ETo) Método Penman Monteith (PM), Turc (T) y Turc Calibrado (TC), periodo: 2004-2013, mes de Enero. 65
TABLA 26. Evapotranspiración de Referencia .. (ETo) Método Penman Monteith (PM), Turc (T) y Turc Calibrado (TC), periodo: 2004-2013, mes de Febrero. 65
TABLA 27. Evapotranspiración de Referencia .. (ETo) Método Penman Monteith (PM), Turc (T) y Turc Calibrado (TC), periodo: 2004-2013, mes de Marzo. 66
TABLA 28. Evapotranspiración de Referencia .. (ETo) Método Penman Monteith (PM), Turc (T) y Turc Calibrado (TC), periodo: 2004-2013, mes de abril 66
TABLA 29. Evapotranspiración de Referencia .. (ETo) Método Penman Monteith (PM), Turc (T) y Turc Calibrado (TC), periodo: 2004-2013, mes de Mayo. 67
TABLA 30. Evapotranspiración de Referencia .. (ETo) Método Penman Monteith (PM), Turc (T) y Turc Calibrado (TC), periodo: 2004-2013, mes de Junio. 67
TABLA 31. Evapotranspiración de Referencia .. (ETo) Método Penman Monteith (PM), Turc (T) y Turc Calibrado (TC), periodo: 2004-2013, mes de julio. 68
TABLA 32. Evapotranspiración de Referencia .. (ETo) Método Penman Monteith (PM), Turc (T) y Turc Calibrado (TC), periodo: 2004-2013, mes de agosto 68
TABLA 33. Evapotranspiración de Referencia .. (ETo) Método Penman Monteith (PM), Turc (T) y Turc Calibrado (TC), periodo: 2004-2013, mes de setiembre 69
TABLA 34. Evapotranspiración de Referencia .. (ETo) Método Penman Monteith (PM), Turc (T) y Turc Calibrado (TC), periodo: 2004-2013, mes de octubre..... 69
TABLA 35. Evapotranspiración de Referencia .. (ETo) Método Penman Monteith (PM), Turc (T) y Turc Calibrado (TC), periodo: 2004-2013, mes de noviembre 70
TABLA 36. Evapotranspiración de Referencia .. (ETo) Método Penman Monteith (PM), Turc (T) y Turc Calibrado (TC), periodo: 2004-2013, mes de diciembre..... 70
TABLA 37. Análisis estadístico diario de la Evapotranspiración de Referencia ETo método de Penman-Monteith (PM) y Hargreaves (H), periodo 2004-2013..... 71
TABLA 38. Análisis estadístico diario de la Evapotranspiración de Referencia ETo método de Penman-Monteith (PM) y Turc (T), periodo 2004-2013..... 71

TABLA 39. Resultados de las ecuaciones de correlación de Penman Monteith y Hargreaves mediante el siguiente modelo lineal, periodo: 2004-2013 71
TABLA 40. Resultados de las ecuaciones de correlación de Penman Monteith y Turc mediante el siguiente modelo lineal, periodo: 2004-2013..... 72
TABLA 41. Evapotranspiración de Referencia mensual método Penman Monteith, Hargreaves, Hargreaves Calibrado, periodo 2004-2013 72
TABLA 42. Resultados de la ecuación de correlación de Penman Monteith y Hargreaves mediante el siguiente modelo lineal ETo(PM) = a+b ETo(H), periodo: 2004-2013..... 73
TABLA 43. Evapotranspiración de Referencia método Penman Monteith, Turc, Turc Calibrado, periodo 2004-2013..... 73
TABLA 44. Resultados de la ecuación de correlación de Penman Monteith y Turc mediante el siguiente modelo lineal ETo(PM) = a+b ETo(T), periodo: 2004-2013 73

LISTA DE FIGURAS

Pag.

FIGURA 1. Modelo lineal y Coeficiente de determinación entre el método de Penman Monteith y Hargreaves del mes de Enero 47
FIGURA 2. Modelo lineal y Coeficiente de determinación entre el método de Penman Monteith y Hargreaves del mes de Febrero 47
FIGURA 3. Modelo lineal y Coeficiente de determinación entre el método de Penman Monteith y Hargreaves del mes de Marzo 48
FIGURA 4. Modelo lineal y Coeficiente de determinación entre el método de Penman Monteith y Hargreaves del mes de Abril 48
FIGURA 5. Modelo lineal y Coeficiente de determinación entre el método de Penman Monteith y Hargreaves del mes de Mayo 49
FIGURA 6. Modelo lineal y Coeficiente de determinación entre el método de Penman Monteith y Hargreaves del mes de Junio 49
FIGURA 7. Modelo lineal y Coeficiente de determinación entre el método de Penman Monteith y Hargreaves del mes de Julio 50
FIGURA 8. Modelo lineal y Coeficiente de determinación entre el método de Penman Monteith y Hargreaves del mes de Agosto 50
FIGURA 9. Modelo lineal y Coeficiente de determinación entre el método de Penman Monteith y Hargreaves del mes de Setiembre 51
FIGURA 10. Modelo lineal y Coeficiente de determinación entre el método de Penman Monteith y Hargreaves del mes de Octubre 51
FIGURA 11. Modelo lineal y Coeficiente de determinación entre el método de Penman Monteith y Hargreaves del mes de Noviembre 52
FIGURA 12. Modelo lineal y Coeficiente de determinación entre el método de Penman Monteith y Hargreaves del mes de Diciembre 52
FIGURA 13. Modelo lineal y Coeficiente de determinación entre el método de Penman Monteith y Turc del mes de Enero 53
FIGURA 14. Modelo lineal y Coeficiente de determinación entre el método de Penman Monteith y Turc del mes de Febrero 53
FIGURA 15. Modelo lineal y Coeficiente de determinación entre el método de Penman Monteith y Turc del mes de Marzo 54

FIGURA 16. Modelo lineal y Coeficiente de determinación entre el método de Penman Monteith y Turc del mes de Abril 54
FIGURA 17. Modelo lineal y Coeficiente de determinación entre el método de Penman Monteith y Turc del mes de Mayo 55
FIGURA 18. Modelo lineal y Coeficiente de determinación entre el método de Penman Monteith y Turc del mes de Junio. 55
FIGURA 19. Modelo lineal y Coeficiente de determinación entre el método de Penman Monteith y Turc del mes de Julio 56
FIGURA 20. Modelo lineal y Coeficiente de determinación entre el método de Penman Monteith y Turc del mes de Agosto 56
FIGURA 21. Modelo lineal y Coeficiente de determinación entre el método de Penman Monteith y Turc del mes de Setiembre 57
FIGURA 22. Modelo lineal y Coeficiente de determinación entre el método de Penman Monteith y Turc del mes de Octubre 57
FIGURA 23. Modelo lineal y Coeficiente de determinación entre el método de Penman Monteith y Turc del mes de Noviembre 58
FIGURA 24. Modelo lineal y Coeficiente de determinación entre el método de Penman Monteith y Turc del mes de Diciembre 58
FIGURA 25. Modelo lineal y Coeficiente de determinación entre Penman Monteith y Hargreaves, periodo: 2004-2013 72
FIGURA 26. Modelo lineal y Coeficiente de determinación entre Penman Monteith y Turc, periodo: 2004-2013 73
FIGURA 27. ETo (Penman Monteith, Hargreaves, Hargreaves Calibrado) diario del mes de Enero 75
FIGURA 28. ETo (Penman Monteith, Hargreaves, Hargreaves Calibrado) diario del mes de Febrero 75
FIGURA 29. ETo (Penman Monteith, Hargreaves, Hargreaves Calibrado) diario del mes de Marzo 75
FIGURA 30. ETo (Penman Monteith, Hargreaves, Hargreaves Calibrado) diario del mes de Abril 76
FIGURA 31. ETo (Penman Monteith, Hargreaves, Hargreaves Calibrado) diario del mes de Mayo 76
FIGURA 32. ETo (Penman Monteith, Hargreaves, Hargreaves Calibrado) diario del mes de Junio 76

FIGURA 33. ETo (Penman Monteith, Hargreaves, Hargreaves Calibrado) diario del mes de Julio 77
FIGURA 34. ETo (Penman Monteith, Hargreaves, Hargreaves Calibrado) diario del mes de Agosto 77
FIGURA 35. ETo (Penman Monteith, Hargreaves, Hargreaves Calibrado) diario del mes de Setiembre 77
FIGURA 36. ETo (Penman Monteith, Hargreaves, Hargreaves Calibrado) diario del mes de Octubre 78
FIGURA 37. ETo (Penman Monteith, Hargreaves, Hargreaves Calibrado) diario del mes de Noviembre 78
FIGURA 38. ETo (Penman Monteith, Hargreaves, Hargreaves Calibrado) diario del mes de Diciembre 78
FIGURA 39. ETo (Penman Monteith, Turc, Turc Calibrado) diario del mes de Enero 79
FIGURA 40. ETo (Penman Monteith, Turc, Turc Calibrado) diario del mes de Febrero 79
FIGURA 41. ETo (Penman Monteith, Turc, Turc Calibrado) diario del mes de Marzo 79
FIGURA 42. ETo (Penman Monteith, Turc, Turc Calibrado) diario del mes de Abril . 80
FIGURA 43. ETo (Penman Monteith, Turc, Turc Calibrado) diario del mes de Mayo 80
FIGURA 44. ETo (Penman Monteith, Turc, Turc Calibrado) diario del mes de Junio . 80
FIGURA 45. ETo (Penman Monteith, Turc, Turc Calibrado) diario del mes de Julio .. 81
FIGURA 46. ETo (Penman Monteith, Turc, Turc Calibrado) diario del mes de Agosto 81
FIGURA 47. ETo (Penman Monteith, Turc, Turc Calibrado) diario del mes de Setiembre 81
FIGURA 48. ETo (Penman Monteith, Turc, Turc Calibrado) diario del mes de Octubre 82
FIGURA 49. ETo (Penman Monteith, Turc, Turc Calibrado) diario del mes de Noviembre 82
FIGURA 50. ETo (Penman Monteith, Turc, Turc Calibrado) diario del mes de Diciembre 82
FIGURA 51. ETo (Penman Monteith, Hargreaves, Hargreaves Calibrado) Mensual ... 83
FIGURA 52. ETo (Penman Monteith, Turc, Turc Calibrado) Mensual 83

LISTA DE ECUACIONES

Pag.

1. Modelo estructural…….…….6
2. Evapotranspiración Real……...……12
3. Método de Penman Monteith…….....…..…12
4. Método de Hargreaves……..……13
5. Método de Turc…….……13
6. Coeficiente de correlación (r)……14
7. Media del registro $(\bar{x})$…….…….….14
8. Media del registro $(\bar{y})$..…….……14
9. Desviación estándar del registro (S_x)..…….…..14
10. Desviación estándar del registro (S_y)…..…….…..14
11. Representación de la ecuación de regresión simple…….....15
12. Parámetro de la ecuación de regresión simple “b”…….…...…16
13. Parámetro de la ecuación de regresión simple “a”…….…...…16
14. t calculado (t_c)…...……...…….16
15. Modelo 1……...……20
16. Modelo 2……...20
17. Presión atmosférica (P)…..……...……...…23
18. Constante psicométrico (ϒ)…….……...…..…….……24
19. Temperatura media del aire (T_m)……...……..……..25
20. Presión de saturación de vapor a la temperatura del aire $e^o(T)$……..…..…25
21. Presión media de vapor de la saturación (e_S)……25
22. Pendiente de la curva de presión de saturación de vapor (Δ)…….……26
23. Presión real de vapor (e_a)…….……..26

24. Radiación extraterrestre para periodos diarios (R_a)...……27

25. Distancia relativa inversa Tierra-Sol (d_r)…..……..27

26. Declinación solar (δ)……...……...……...……27

27. Angulo de radiación a la puesta del sol (w_S)……..……....27

28. Duración máxima de la insolación (N)….…….……27

29. Radiación solar (R_S)…...…….....….28

30. Radiación solar en un día despejado (R_{SO})..…….…….28

31. Radiación neta solar o de onda corta (R_{ns})…….....……29

32. Radiación neta de onda larga (R_{nl})…….……29

33. Radiación neta (R_n)……...……30

RESUMEN

Uno de los mayores problemas prácticos de la agrometeorología a nivel mundial es la determinación de la evapotranspiración, debido a lo cual trae como consecuencias el mal uso del agua, tanto con exceso o déficit en la necesidad hídrica de los cultivos. En el presente trabajo de investigación tuvo como finalidad desarrollar modelos para estimar la Evapotranspiración de referencia con las ecuaciones empíricas de Hargreaves, Turc, respecto de la ecuación estándar Penman-Monteith (FAO), en el sector Mataquita-Jangas para el periodo hidrológico 2004 – 2013, con datos meteorológicos diarios de la estación Mina ubicado en la zona de estudio, mediante modelos de regresión lineal simple. Los resultados que se han obtenido como consecuencia del procesamiento de la información meteorológica son modelos diarios y mensuales para la estimación de la ETo, encontrando mejor ajuste en el mes de febrero: ETo (PM) = 0.5027 + 0.7514 * ETo (H), coeficiente de determinación R^2 = 0.9963, coeficiente de correlación r = 99.81% y ETo (PM) = 1.0908 + 0.9848 * ETo (T), con un coeficiente de determinación R^2 = 0.9929, coeficiente de correlación r = 99.64% y los modelos mensuales son: ETo (PM) = – 0.4844 + 1.0696 * ETo (H), coeficiente de determinación R^2 = 0.8186 y coeficiente de correlación r = 90.48% y ETo (PM) = 1.6116 + 0.6344 * ETo (T), coeficiente de determinación R^2 = 0.8396 y coeficiente de correlación r = 91.63%.

Palabras clave: Evapotranspiración, agrometeorología, necesidad hídrica, correlación.

ABSTRACT

One of the greatest practical problems of agrometeorology worldwide is the determination of evapotranspiration, due to which it results in the misuse of water, both with excess or deficit in the water needs of crops. The purpose of this research work was to develop models to estimate the reference Evapotranspiration with the empirical equations of Hargreaves, Turc, with respect to the standard equation Penman-Monteith (FAO), in the Mataquita-Jangas sector for the 2004 hydrological period - 2013, with daily meteorological data from the Mina station located in the study area, using simple linear regression models. The results that have been obtained as a result of the processing of the meteorological information are daily and monthly models for the estimation of the ETo, finding better adjustment in the month of February: ETo (PM) = 0.5027 + 0.7514 * ETo (H), coefficient of determination R2 = 0.9963, correlation coefficient r = 99.81% and ETo (PM) = 1.0908 + 0.9848 * ETo (T), with a determination coefficient R2 = 0.9929, correlation coefficient r = 99.64% and the monthly models are: ETo (PM) = - 0.4844 + 1.0696 * ETo (H), coefficient of determination R2 = 0.8186 and correlation coefficient r = 90.48% and ETo (PM) = 1.6116 + 0.6344 * ETo (T), coefficient of determination R2 = 0.8396 and correlation coefficient r = 91.63%.

Keywords: Evapotranspiration, agrometeorology, water need, correlation.

CAPITULO I

I. INTRODUCCIÓN

López M. (2011), La evapotranspiración es una componente fundamental del balance hídrico y un factor clave en la interacción entre la superficie terrestre y la atmósfera, por lo que su cuantificación se hace precisa en contextos tales como la producción vegetal, estudios ambientales, ecológicos, en la planificación, gestión de los recursos hídricos y de los recursos hidráulicos. La ausencia de no medir la evapotranspiración de referencia (ETo) hace que no exista una componente clase en los estudios hidrológicos que son utilizados en la planificación agrícola, la programación de riego y la zonificación agroclimática.

Águeda R. (2014), Numerosos investigadores han utilizado el funcionamiento de varios métodos de cálculo para diversas localidades y como resultado de una consulta de expertos llevada a cabo en mayo de 1990, el método Penman Monteith (FAO) se recomienda como el método estándar para la definición y el cálculo de la evapotranspiración de referencia (ETo).

En el presente trabajo de investigación se trata de desarrollar modelos para estimar la Evapotranspiración de referencia con las ecuaciones de Hargreaves, Turc, respecto de la ecuación estándar Penman-Monteith, con el fin de obtener una ecuación simplificada y precisa para estimar la evapotranspiración de referencia en el sector de Mataquita distrito de Jangas provincia de Huaraz departamento de Ancash, y así conseguir una utilización racionalizada y ajustar los volúmenes de agua. Mediante el análisis de regresión lineal simple se calculó el coeficiente de determinación y el coeficiente de correlación en la cual las ecuaciones de Hargreaves y Turc influyen en la ecuación estándar de Penman Monteith (FAO) es decir son significativos.

Se logra contar con una herramienta que nos da seguridad a la hora de necesitar y obtener la estimación de Evapotranspiración de referencia (ETo) por las ecuaciones de Turc calibrado, Hargreaves calibrado y Penman Monteith (FAO) cuyas estimaciones son adecuadas tanto a escala diaria como mensual con un mejor rendimiento estadístico. La presente investigación tiene de mayor realce ya que con una ecuación más sencilla de aplicar se optimiza la estimación del ETo en toda la zona de influencia, la cual facilita la determinación del módulo de riego y por tal el caudal de demanda o diseño.

1.1. Objetivos

Objetivo General

Desarrollar modelos para estimar la Evapotranspiración de referencia con las ecuaciones de Hargreaves, Turc, respecto de la ecuación estándar Penman-Monteith, con el fin de obtener una ecuación simplificada y precisa para estimar la evapotranspiración de referencia en el sector de Mataquita-Jangas en el periodo 2004-2013.

Objetivos Específicos

- Realizar el tratamiento de variables climatológicas de la estación meteorología Mina para las ecuaciones de Penman-Monteith, Hargreaves y Turc.
- Procesar información meteorológica para la estimación de la evapotranspiración de referencia en el sector de Mataquita.
- Validar los resultados por el método de Penman-Monteith y las ecuaciones de Hargreaves y Turc, midiendo el grado de correlación aplicando el método lineal $PM=\beta_0+\beta_i\ HG+\ \varepsilon_0$ y $PM=\beta_0+\beta_i\ T+\varepsilon_0$.

CAPÍTULO II

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Antecedentes del tema

Reyes E. (2008), "Estimación de la evapotranspiración para la zona agrícola de la sub cuenca del rio Quillcay.". **Objetivo:** Evaluar el comportamiento de la evapotranspiración (ET) calculada con datos meteorológicos, para su aplicación en la zona agrícola de la sub cuenca del Río Quillcay. **Método:** FAO Penman-Monteith y Hargreaves, PM = a + b (GH). **Conclusión:** El modelo lineal que ajusta la ETo obtenidos con el método de la FAO Penman-Monteith y Hargreaves y que permite realizar la corrección del método de Hargreaves diario y mensual es:

Modelos lineales.

Agosto 2008: ETo(Penman-Monteith) = 1.878 + 0.737*ETo (Hargreaves)
Setiembre 2008: ETo(Penman-Monteith) = 1.329 + 0.912*ETo (Hargreaves)
Octubre 2008: ETo(Penman-Monteith) = 2.179 + 0.654*ETo (Hargreaves)
Noviembre 2008: ETo(Penman-Monteith) = 1.821 + 0.779*ETo(Hargreaves)
Diciembre 2008: ETo(Penman-Monteith) = 2.314 + 0.686*ETo (Hargreaves)
Enero 2009: ETo(Penman-Monteith) = 2.05 + 0.726*ETo (Hargreaves)
Febrero 2009: ETo(Penman-Monteith) = 2.994 + 0.418*ETo (Hargreaves)
Marzo 2009: ETo(Penman-Monteith) = 2.224 + 0.639 *ETo (Hargreaves)
Abril 2009: ETo(Penman-Monteith) = 1.899 + 0.736*ETo (Hargreaves)
Mayo 2009: ETo(Penman-Monteith) = 1.323 + 0.933*ETo (Hargreaves)
Junio 2009: ETo(Penman-Monteith) = 1.828 + 0.656*ETo (Hargreaves)
Julio 2009: ETo(Penman-Monteith) = 1.69 + 0.837*ETo (Hargreaves)

Anual 2008-2009: ETo (Penman-Monteith) =0.595+1.085*ETo (Hargreaves)
Al reemplazar ETo (Penman-Monteith) = ETo (Penman corregido), se obtienen los valores de la evapotranspiración de referencia corregida con los datos meteorológicos de la estación DRA Ancash – Huaraz, calculada con el método de Hargreaves. Con un coeficiente de correlación de 90.2% y R^2=0.813.

Águeda R. (2014), "estimación de la evapotranspiración de referencia – Sub cuenca alta del Altamayo – Año hidrológico 2012-2013". **Objetivo:** estimar la evapotranspiración de referencia en la sub cuenca alta del Altamayo en el año hidrológico 2012-2013. **Métodos:** FAO Penman-Monteith y Hargreaves, PM = a + b (GH). **Resultado:** Se determinó el modelo mensual que predice el valor de la ET_O en la subcuenca alta del Yanamayo es: Estación EM12-Pomabamba, ET_O (FAO-PM) = 0,336 + 1,600(HG), con un coeficiente de correlación "r" de 95.4%, y la Estación EM02-Chacas, ET_O (FAO-PM) = 0,596 + 0,991(HG), con un coeficiente de correlación "r" de 58.8%.

2.2 Marco conceptual

Modelo

Hawking y Mlodinow (2010), Se entiende por modelo a una representación y/o abstracción de algo pero con una estructura más sencilla; tiene como objeto el representar la realidad cambiante, por medio de un equivalente más o menos arbitrario, que exprese con claridad, como está constituido la porción del universo que se desea estudiar o simplemente considerar. Cuando el modelo explica satisfactoriamente los acontecimientos tendemos a atribuirle, a él y a los elementos y conceptos que lo integran, la calidad de realidad o verdad absoluta. Pero podría haber otras maneras de construir un modelo de la misma situación física, empleando en cada una de ellas conceptos y elementos fundamentales diferentes. Si dos de esas teorías o modelos predicen con exactitud los mismos acontecimientos, no podemos decir que uno sea más real que el otro, y somos libres para utilizar el modelo que nos resulte más conveniente. El amplio uso de modelos hoy en día, ha permitidos avanzar en muchas de las ciencias aplicadas. Sin embargo, queda mucho por hacer en este aspecto ya que se requieren que dichos modelos tengan características que permitan que su aplicación a una gama de problemas, entre otras. De acuerdo con un modelo es satisfactorio si tiene las características siguientes:

1. Es elegante.
2. Contiene pocos parámetros ajustables.
3. Concuerda con las observaciones y proporciona una explicación de ellas.

4. Permite realizar predicciones correctas (o incorrectas).

Modelo determinístico

Cabrera J. (2011), Un Modelo determinístico es un modelo matemático donde las mismas entradas producirán invariablemente las mismas salidas, no contemplándose la existencia del azar ni el principio de incertidumbre. Está estrechamente relacionado con la creación de entornos simulados a través de simuladores para el estudio de situaciones hipotéticas, o para crear sistemas de gestión que permitan disminuir la incertidumbre. La inclusión de mayor complejidad en las relaciones con una cantidad mayor de variables y elementos ajenos al modelo determinístico hará posible que éste se aproxime a un modelo probabilístico o de enfoque estocástico. (p.4).

Modelos estocásticos

Cabrera J. (2011), Un modelo es estocástico cuando al menos una variable del mismo es tomada como un dato al azar y las relaciones entre variables se toman por medio de funciones probabilísticas. Sirven por lo general para realizar grandes series de muestreos, quitan mucho tiempo en el computador son muy utilizados en investigaciones científicas. Para lograr modelar correctamente un proceso estocástico es necesario comprender numerosos conceptos de probabilidad y estadística. Dentro del conjunto de procesos estocásticos se encuentran, por ejemplo, el tiempo de funcionamiento de una máquina entre avería y avería, su tiempo de reparación y el tiempo que necesita un operador humano para realizar una determinada operación. (p.4)

Modelización con ecuaciones estructurales y variables

Batista y Coenders (2000), Las técnicas de regresión son categorías de lo que se han denominado de forma global modelos de ecuaciones estructurales, que analizan las relaciones causales y no causales entre variables tomadas como indicadores de medida de los constructos, excluyendo del análisis el error de medición. La modelización según ecuaciones estructurales sigue una metodología que pasa por diferentes

etapas: especificación, identificación, estimación de parámetros, evaluación del ajuste, reespecificación del modelo e interpretación de resultados. (p.24).

Modelo estructural

Batista y Coenders (2000), Especifica las ecuaciones causales lineales entre las variables del modelo.

$Y = \beta_0 + \beta_i X + \varepsilon_0$ ……...……...……[1]

Donde:

$\boldsymbol{\beta_0}$: Constante.

$\boldsymbol{\beta_i}$: Coeficiente de regresión.

Y : variable independiente.

X : variable dependiente.

$\boldsymbol{\varepsilon_0}$: Termino de error.

Calibración de un modelo

Cabrera J. (2011), La calibración es el proceso por el cual se identifican los valores de los parámetros del modelo para los cuales la serie de datos simulado se ajusta de manera óptima a la serie de datos observados. Para evaluar la bondad de ajuste del modelo se utiliza una "función objetivo".

Este proceso puede realizarse de dos formas:

a. Prueba y error

Es el método más utilizado y usualmente recomendado. Implica un ajuste manual de parámetros basado en el criterio del investigador.

Tiene valor de aprendizaje pero es lento y subjetivo.

b. Automática

Optimiza los valores de los parámetros utilizando técnicas numéricas. A diferencia de la "prueba y error", este método es mucho más rápido y objetivo; sin embargo, es numéricamente complejo y presenta problemas en la compensación de errores y en la captura de valores mínimos locales.

Evaporación

Allen et al. (1998), la evaporación es el proceso físico por el cual el agua que se encuentra en estado líquido pasa al estado gaseoso. Para que el cambio de estado se produzca, se necesita de un calor de aproximadamente 600 calorías por cada gramo de agua evaporada. El agua se evapora de una variedad de superficies, tales como lagos, ríos, caminos, suelos y la vegetación mojada. Algunos de los factores meteorológicos más importantes que afectan a la evaporación son: radiación solar, viento, humedad relativa, temperatura.

Águeda R. (2014), para cambiar el estado de las moléculas del agua de liquido a vapor se requiere energía. La radiación solar directa y, en menor grado, la temperatura ambiental del aire, proporcionan esta energía. La fuerza impulsadora para retirar el vapor de agua de una superficie evaporante es la diferencia entre la presión de vapor de agua de una superficie evaporante y la presión de vapor de agua de atmosfera. 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 atmosfera o en otras palabras no se retira de al redero de la hoja. El reemplazo del aire saturado por un aire 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 paramentos climatológicos a considerar al evaluar el proceso de la evaporación.

López M. (2011), Otros estudios evalúan la evaporación desde el suelo considerando el efecto de dos factores adicionales: el “grado de cobertura del suelo” y la “cantidad de agua disponible”. En estos casos, la evaporación está determinada sólo por las condiciones meteorológicas en suelos provistos de agua con suficiente velocidad (ya sea por la abundancia de lluvias, el riego frecuente o el ascenso capilar). Sin embargo, cuando las frecuencias, tanto de las lluvias como del riego, son bajas, o la capacidad del suelo de conducir la humedad cerca de la superficie es reducida, el contenido de agua en los horizontes superiores del suelo disminuye y la superficie se seca. Bajo estas circunstancias, la disponibilidad limitada del agua ejerce un control importante sobre la evaporación del suelo.

Transpiración

Allen et al. (1998), Es el proceso por el cual el agua, absorbida desde el suelo, por la vegetación pasa a la atmosfera en forma de vapor. Las diferencias de concentración entre la savia de las células de la raíz de una planta y el agua en el suelo, causan una presión osmótica capaz de mover el agua del suelo a través de la membrana de la raíz hacia las células de ésta. El agua es transportada a través de la planta al espacio intercelular dentro de las hojas. El aire entra a la hoja a través de las estomas, y los cloroplastos en el interior de la hoja usan el dióxido de carbono del aire y una pequeña porción del agua disponible para producir los carbohidratos necesarios para el crecimiento de la planta (fotosíntesis). Al entrar el aire a la hoja, parte del agua escapa a través de las estomas abiertas. Este es el proceso de transpiración. La transpiración es básicamente un proceso mediante el cual el agua se evapora de los espacios aéreos en las hojas de la planta. Por lo tanto, está controlada fundamentalmente por los mismos factores que dominan la evaporación, es decir, la radiación solar, temperatura, velocidad del viento, y los gradientes de presión de vapor. Además, la transpiración se ve afectada en alguna medida por el tipo de planta y su densidad. Cuando el contenido de humedad del suelo se reduce hasta el punto de marchitez (etapa en la que las plantas se marchitan y no se recuperan en un ambiente húmedo), también afecta a la transpiración. Los efectos de la disminución de la humedad del suelo por encima del punto de marchitez no están claramente establecidos. Sin embargo, parece que mientras la humedad del suelo se encuentra entre los límites del punto de marchitez y la capacidad de campo (Contenido de humedad que alcanza el suelo cuando no puede absorber más agua de forma natural de la lluvia), la transpiración no es materialmente afectada. La transpiración ocurre casi en su totalidad en el día bajo la radiación solar. Por la noche, los poros o estomas de las plantas se cierran y un porcentaje muy pequeño de humedad se libera desde la superficie de la planta.

López M. (2011), La transpiración es el resultado del proceso fisiológico y biológico por el cual el agua cambia del estado líquido al gaseoso a través del metabolismo de la planta. Esencialmente, es el mismo proceso físico que la evaporación, excepto que la superficie desde la cual se escapan las

moléculas del líquido no es de agua libre, sino que es la superficie de las hojas. Las hojas poseen una delgada epidermis con numerosas aberturas denominadas estomas. El espacio intercelular en el mesodermo contiene grandes volúmenes de aire entre cada estoma. La humedad en los espacios intercelulares se vaporiza y escapa de la hoja a través de las estomas. Casi toda el agua que la planta absorbe del suelo se pierde por transpiración y sólo una pequeña fracción se convierte en parte de los tejidos vegetales. Las mediciones de transpiración y los cálculos de conductancia foliar del vapor de agua son parámetros importantes en el estudio del continuo suelo-planta-atmósfera. El procedimiento más preciso para estimar la transpiración involucra sistemas de "intercambio gaseoso" en los que la transpiración se calcula midiendo el vapor de agua en una atmósfera cerrada que rodea a la hoja. Si bien este método es muy preciso, su complejidad reduce su aplicación.

Evapotranspiración

Allen et al. (1998), La evaporación y la transpiración ocurren simultáneamente y no hay una manera fácil de distinguir entre los dos procesos. Además de la disponibilidad de agua en la capa superior del suelo, la evaporación de un suelo cultivado está determinada principalmente por la fracción de radiación solar que llega a la superficie del suelo. Esta fracción disminuye durante el período de crecimiento a medida que el cultivo se desarrolla y el dosel de sombra sombrea cada vez más el área del suelo. Cuando el cultivo es pequeño, el agua se pierde predominantemente por la evaporación del suelo, pero una vez que el cultivo está bien desarrollado y cubre completamente el suelo, la transpiración se convierte en el proceso principal.

La Evapotranspiración es afectada por distinto factores:

1. Variables Climáticas: Los principales parámetros climáticos que afectan la evapotranspiración son la radiación, la velocidad del viento, la temperatura del aire, y la humedad atmosférica.

2. Factores de Cultivo: El tipo de cultivo, la variedad y la etapa de desarrollo deben ser considerados cuando se evalúa la evapotranspiración de cultivos que se desarrollan en áreas grandes y bien manejadas.
3. Manejo y condiciones ambientales: Los factores tales como salinidad o baja fertilidad del suelo, uso limitado de fertilizantes, presencia de estratos duros o impenetrables en el suelo, ausencia de control de enfermedades y de parásitos y el mal manejo del suelo pueden limitar el desarrollo del cultivo y reducir la evapotranspiración.

Evapotranspiración potencial ($ET_{p)}$

López M. (2011), El concepto de evapotranspiración potencial (ETP) fue definido por Thornthwaite (1948) como el máximo de evapotranspiración que depende únicamente del clima. Según este autor, no hay ninguna restricción de agua en el suelo y su magnitud depende exclusivamente del clima. Por su parte, Penman (1956) define la evapotranspiración potencial como la cantidad de agua transpirada por un cultivo corto de césped que cubre el suelo en su totalidad y sin falta de agua. Incorpora así al concepto de evapotranspiración potencial no sólo el clima, sino también las condiciones del cultivo y el agua en el suelo. Justamente, los dos factores que ejercen mayor influencia sobre la evapotranspiración son el desarrollo vegetal de la planta y el contenido de humedad del suelo, los cuales son muy variables y difíciles de medir. Incorporando estos dos factores, el concepto de evapotranspiración potencial se define, entonces, como la máxima evapotranspiración posible que se produce en condiciones favorables cuando el suelo está bien provisto de agua y tapizado por una vegetación o cubierta vegetal densa y bien extensa, pareja y de poca altura.

Evapotranspiración de referencia (ETo)

Bochetti M. (2010), Dado que el concepto de (ET_o) es difuso, pues cada tipo de planta evapotranspira una cantidad de agua diferente, la Organización Mundial de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO) en su Guía para las necesidades hídricas de los cultivos. Esta evapotranspiración de cultivos es ampliamente aceptada por todos los colectivos agrícolas para las prácticas agrarias, proyectos e investigaciones.

La evapotranspiración de referencia se define como la tasa de evapotranspiración de una superficie de referencia, que ocurre sin restricciones de agua, y se denomina ETo. La superficie de referencia corresponde a un cultivo hipotético de pasto con características específicas. El concepto de evapotranspiración de referencia se introdujo para estudiar la demanda de evapotranspiración de la atmósfera, independientemente del tipo y desarrollo del cultivo, y de las prácticas de manejo. Debido a que hay una abundante disponibilidad de agua en la superficie de evapotranspiración de referencia, los factores del suelo no tienen ningún efecto sobre ET.

El concepto de una superficie de referencia fue introducido con el fin de obviar la necesidad de definir los parámetros únicos de evaporación para cada cultivo y etapa de crecimiento. Los valores de evapotranspiración de los diferentes cultivos se relacionan con la evapotranspiración de la superficie de referencia (ETo) por medio de los coeficientes de cultivo. El pasto, así como la alfalfa, es un cultivo muy bien estudiado con respecto a sus características aerodinámicas y superficiales y es aceptado ampliamente como superficie de referencia. Para evitar los problemas que conllevan los trabajos de calibración local que requerirían exigentes y costosos estudios, se ha seleccionado un cultivo hipotético de referencia.

La consulta a expertos de la FAO sobre la revisión de las metodologías recomendadas por la FAO para el cálculo de los requerimientos de agua de los cultivos, presento la siguiente definición inequívoca para la superficie de referencia:

Evapotranspiración Real (ETr)

Bochetti M. (2010), La evapotranspiración real es aquella que ocurre en las condiciones reales en que se encuentra el suelo. Esta es más difícil de calcular que la evapotranspiración potencial, ya que además de las condiciones atmosféricas consideradas en la determinación de la evapotranspiración potencial, envuelve la magnitud de las reservas de humedad del suelo y los requerimientos de los cultivos. Muchos autores indican que el nivel de humedad del suelo y la demanda de evaporación de la atmosfera determinan el grado de evaporación real.

La evapotranspiración real de un cultivo, en cierto momento de su ciclo vegetativo, puede expresarse como:

$$ET_r = ET_O * k \text{…..……[2]}$$

Dónde:

K: Coeficiente que corrige por la fase vegetativa del cultivo y por el nivel de humedad en el suelo.

Método de Penman–Monteih

Debido a la dificultad de obtener datos de lisímetro de ETo se tomaron como datos observados la evapotranspiración de referencia obtenida por el método FAO-56 Penman-Monteih, recomendado por los expertos como único método estándar para el cálculo de ETo.

La ecuación para estimar ETo es:

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+27} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \text{ … … … … … … … … . . … … . . [3]}$$

Donde:

ETo: evapotranspiración de referencia (mm/día).

Rn : radiación neta en la superficie del cultivo (MJ/m2/día).

Ra : radiación extraterrestre (mm/día).

G : flujo de calor de suelo (MJ/m2/día).

T : Temperatura media del aire a 2 m de altura (°C)

$\mathbf{u_2}$ **:** velocidad de viento a 2 m de altura (m/s).

$\mathbf{e_s}$ **:** presión de vapor de saturación (kPa).

$\mathbf{e_a}$ **:** presión de vapor (kPa).

Δ **:** pendiente de la curva de presión de vapor (kPa/°C)

γ **:** constante psicrométrica (kPa/°C).

Método de Hargreaves

La siguiente formula fue desarrollada por Hargreaves (Hargreaves G.L, Hargreaves G.H.y Riley J.P, 1985) Y (Hargreaves G.L y Samani Z.A, 1991) a base de mediciones realizadas en lisímetros (universidad de California).

$$\text{ETo} = 0.0135 * (T_m + 17.78) * R_S \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad [4]$$

Donde:

ETo: Evapotranspiración del cultivo de referencia (mm/día)

Rs : Radiación solar (mm/día)

Tm : Temperatura media en Celsius

Metodo De Turc

El metodo de Turc, tomado de Comision Nacional de Riego (1997), se expresa como:

$$\text{ETP} = 0.013 \times (\text{R}_\text{s} + 50) \times \left(\frac{\text{T}_\text{m}}{\text{T}_\text{m} + 15}\right) \times 1 + \left(\frac{65 - \text{HR}}{120}\right) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad [5]$$

Donde :

ETP: evapotranspiracion de referencia, expresada en mm/dia.

R_s : radiacion solar (cal/cm^2/día).

T_m : temperatura media del aire, expresada en °C.

HR : humedad relativa media (%)

Correlación.

Villón B. (2002), La correlación se define como la asociación entre dos o más variables aleatorias.

Coeficientes de Correlación (r):

Villón B. (2002), Es el estadístico que nos permite medir el grado de asociación de dos variables linealmente asociadas. Para el caso de una muestra está dada por:

$$r = \frac{S_{xy}}{S_x S_y} = \frac{\sum xy - n\bar{x}\bar{y}}{nS_x S_y} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots [6]$$

Donde:

La media del registro x ($\bar{x}$)

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x}{n} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots [7]$$

La media del registro y ($\bar{y}$)

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^{n} y}{n} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots [8]$$

Desviación estándar de registro (S_x)

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}{n}} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots [9]$$

Desviación estándar de registro (S_y)

$$S_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y})^2}{n}} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots [10]$$

Variación de valores de r: $-1 < r < 1$; describen los varios grados de asociación. Si x e y son independientes: $Szy = 0$, Luego $r = 0$

Córdova (2008), Correlación en rango "r"

- Perfecta $r = 1.00$
- Excelente $0.90 \leq r < 1.00$
- Buena $0.80 \leq r < 0.90$
- Regular $0.50 \leq r < 0.80$
- Mala $r < 0.50$

Coeficiente de Determinación (R^2):

Villón B. (2002), Es la proporción o porcentaje, de la variación total de la variable dependiente y, que es explicada o depende de la variable

independiente x, por lo cual, es un criterio para explicar la importancia de la variable independiente dentro del modelo.

Además; $0 \leq R^2 \leq 1$; de 0-100%.

Análisis de regresión simple

Regresión lineal simple

En Hidrológica el modelo más simple y común, está basada en la suposición de que dos variables se relacionan en forma lineal, como por ejemplo:

Este hecho, permite correlacionar estas variables para completar datos o extender un registro

Ecuación de regresión: La ecuación general de la regresión lineal es:

$y = a + bx$ ... ... [11]

Donde:

x : Variable independente, variable conocida.

y : Variable dependiente, variable que se trata de predecir.

a : Intercepto, ounto donde la línea de regresión cruza el eje y, es decir valor de y cuando x = 0.

b : Pendiente de la línea o coeficiente de regresión es decir, es la cantidad de cambio de y asociada a un cambio unitario de x.

Pasos para el análisis de regresión

a. Es una técnica determinística, que permite determinar la naturaleza de la relación funcional entre dos o más variables, permite predecir los valores de y = f(x) con un cierto grado de aproximación. Siendo una función de relación correlativa simple lineal “y = a+ bx”.

b. Dada la ecuación de regresión lineal "y = a+ bx"; donde "a" y "b" son los parámetros de la ecuación. El método más utilizado para la estimación de los parámetros "a" y "b" es el método de mínimos cuadrados.

$$\mathrm{b} = \frac{n\sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n\sum {x_i}^2 - \left(\sum x_i\right)^2} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots. [12]$$

$$\mathrm{a} = \frac{\sum x_i \sum {x_i}^2 - \sum x_i \sum x_i y_i}{n\sum {x_i}^2 - \left(\sum x_i\right)^2} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots. [13]$$

c. Estimación de los dos parámetros que miden el grado de asociación correlativa (r^2, r).

d. Prueba de significación de los parámetros estadísticos que miden la asociación correlativa, para lo cual se aplica la prueba "t"

Se plantea la hipótesis

Ho: ρ = 0 (ρ es el coeficiente de correlación poblacional y su valor varía entre -1 y 1).

Ha: ρ ≠ 0.

Calculo de t calculado (t_c)

Se utiliza la ecuación:

$$\boldsymbol{t_c = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}}} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots [14]$$

Donde:

r: Coeficiente de correlación.

n: Numero de pares de valores.

Calculo del t tabular (t_t)

El t_t se obtiene de las tablas preparadas para este efecto, con un nivel de significación α o una probabilidad de (1- α), y con un grado de libertad (ν = n-2), donde n es el número de pares de valores.

Criterios de decisión:

Si $|t_c| \leq t_t$, se acepta la hipótesis nula, por lo que $\rho = 0$, y por lo tanto no hay correlación significativa.

Si $|t_c| \geq t_t$, se rechaza la hipótesis nula por lo que $\rho \neq 0$, indicándose que es significativo y por lo tanto existe correlación entre las variables.

2.3. Definición de términos

Radiación Solar, Es la energía solar incidente con unidades generalmente expresadas en (calorías/cm2 – día) o en lámina de agua evaporada por tiempo.

Humedad relativa, Relación porcentual entre la cantidad de vapor de agua presente en el aire y la máxima que sería posible.

Viento, Desplazamiento del aire, en sentido horizontal, originado por la diferencia de presión en distintas áreas.

Temperatura Máxima, El mayor grado de calor que se observa en la atmosfera o en un cuerpo durante un determinado tiempo.

Temperatura mínima, El menor grado de calor que se observa en la atmosfera o en un cuerpo durante un determinado tiempo.

Uso consuntivo del agua, El uso consuntivo puede definirse como la cantidad de agua que consumen las plantas para germinar, crecer y producir económicamente, y cuantitativamente es un concepto equivalente al de evapotranspiración. Los principales componentes del uso consuntivo del agua son la transpiración y la evaporación.

Lisímetro, Sirve para medir la evapotranspiración, y consiste en un recipiente enterrado y cerrado lateralmente, de modo que el agua drenada por gravedad es recogida por un drenaje.

Uso Consuntivo, Cantidad total de agua usada por la vegetación para transpiración o desarrollo de su materia vegetal más la evaporación de humedad del suelo o precipitación interceptada por la superficie de los cultivos y luego evaporada.

CAPÍTULO III

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Descripción de la zona de estudio

El presente trabajo de investigación se realizó en el sector de Mataquita, distrito de Jangas, provincia de Huaraz, Región Ancash, localizado geográficamente en las coordenadas: latitud 9º 25'37" S., longitud 77° 35' 13"O., altitud 3,280 msnm, con temperaturas medias anuales de 7 a 11 °C, existen áreas agrícolas de muy buena calidad aproximadamente 106 ha de tierras cultivables, los productos que cultivan son alfalfa, trigo, maíz, papa, cebada y hortalizas.

3.2. Materiales

3.2.1. Información recopilada

Información de datos meteorológicos de la estación Mina del año 2004 al 2013. Las variables climatológicas siguientes:

- Temperatura del aire máxima y mínima
- Humedad relativa del aire máxima y mínima.
- Radiación solar
- Velocidad del viento

Factores físicos:

- Latitud
- Longitud
- Altitud
- Presión atmosférica
- Calor latente de vaporización
- Constante psicrométrica

3.2.2. Equipos

- Ordenador portátil
- Impresora multifuncional

3.2.3. Programas de cómputo

- Excel 2013 (cálculos, resultados y análisis estadístico)
- Word 2013 (redacción y presentación de la tesis)

3.3. Métodos

3.3.1 Tipo de investigación

Según su propósito es aplicada y de nivel descriptivo; en función del periodo en el que se obtuvo la información es retrospectivo; según la evolución del fenómeno es trasversal.

3.3.2 Diseño de la investigación

No experimental - Intencionada

3.3.3 Modelos de la investigación

Modelo 1:

$\text{PM} = \beta_0 + \beta_i HG + \varepsilon_0$ ..... [15]

Donde:

$\boldsymbol{\beta_0}$: Constante.

$\boldsymbol{\beta_i}$: Coeficiente de regresión.

PM: Ecuación estándar Penman-Monteith.

HG: Ecuaciones de Hargreaves.

$\boldsymbol{\varepsilon_0}$: Termino de error.

Modelo 2:

$\text{PM} = \beta_0 + \beta_i T + \varepsilon_0$ ..... [16]

Donde:

$\boldsymbol{\beta_0}$: Constante.

$\boldsymbol{\beta_i}$: Coeficiente de regresión.

PM: Ecuación estándar Penman-Monteith.

T : Ecuaciones de Turc.

$\boldsymbol{\varepsilon_0}$: Termino de error.

3.3.4 Método

Cuantitativo.

3.3.5 Población

Micro cuenca Mataquita- estación meteorológica SENAMHI Mina.

3.3.6 Tamaño de muestra

Datos climatológicos de la estación meteorológica SENAMHI Mina. Años meteorológicos (2004-2013).

3.3.7 Procedimiento

Determinación de la ETo

Para determinar la evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo) a partir de datos meteorológicos. Se presenta pautas para calcular la ETo para diferentes periodos de tiempo que van desde días a meses. El cálculo de la ETo se hará con la ayuda de una hoja de cálculo (Excel), o por medio de una computadora.

La Ecuación 3 determina la evapotranspiración de la superficie hipotética de referencia y proporciona un valor estándar con el cual se puede comparar la evapotranspiración en diversos periodos del año o en otras regiones así como también puede relacionarse con la evapotranspiración de otros cultivos.

Procedimiento del cálculo

Planilla de cálculo: El procedimiento del cálculo consiste en los siguientes pasos:

1. Derivación de algunos parámetros climáticos de las temperaturas máximas y mínimas diarias (Tmax y Tmin), de la altitud (z) y de la velocidad media del viento (u2).

2. Calculo del déficit de la presión del vapor (es-ea). La presión de saturación de vapor (es) se deriva de Tmax y Tmin, mientras que la presión real del vapor (ea) se puede derivar de la temperatura del punto de roció (T roció), de la humedad relativa máxima y mínima (HRmax y HRmin), de la humedad relativa máxima solamente (HRmax), o de la humedad relativa promedio (HR media).

3. Determinación de la radiación neta (Rn) como la diferencia entre la radiación neta de onda corta (Rns) y la radiación neta de onda larga (Rnl). En la planilla, el efecto del flujo de calor en el suelo se ignora

para los cálculos diarios pues la magnitud del flujo en este caso es relativamente pequeña. En la ecuación FAO Penman-Monteith, la radiación neta, expresada en MJ/m2/día, se convierte a mm/día (evaporación equivalente) usando 0,408 como el factor de la conversión dentro de la ecuación.

4. La ETo se obtiene combinando los resultados de los pasos anteriores. Los datos meteorológicos promedios para periodos de días o mensuales medios se pueden utilizar para calcular los valores medios de la evapotranspiración de referencia para periodos de días o mensuales. El valor de la evapotranspiración de referencia calculada con datos meteorológicos mensuales medios es de hecho muy similar al promedio de los valores diarios de ETo calculados con los datos medios diarios.

Los datos meteorológicos consisten en:

- Temperatura del aire: Temperatura máxima (Tmax) y temperatura mínima (Tmin) promedio diario para periodos mensuales.
- Humedad del aire: el promedio mensual o diario de la presión real de vapor (ea) derivada del psicrómetro, del punto de condensación o de los datos de humedad relativa.
- Velocidad del viento: valores promedio diarios o mensuales de la velocidad diaria del viento medida a una altura de 2 m (u2).
- Radiación: Promedio diario o mensual de la radiación neta diaria (Rn) calculada de la media diaria o mensual de la radiación de onda corta medida o de la duración real de las horas diarias de insolación (n). La radiación extraterrestre (Ra) y las horas de duración máxima de insolación (N) para un día específico del mes.

Cuando el suelo se está calentando (primavera) o se está enfriando (otoño), el flujo del calor del suelo (G) para periodos mensuales puede llegar a ser significativo con relación a la Rn media mensual. En estos casos G no puede ser ignorado y su valor debe determinarse a partir de las temperaturas del aire medias mensuales del mes anterior y posterior al mes considerado.

Cálculo de ETo para periodos de un día

El cálculo de la ETo usando la ecuación de Penman-Monteith para periodos de tiempo de 24 horas proporcionara generalmente resultados precisos. Los datos meteorológicos requeridos son los siguientes:

- Temperatura del aire: Temperatura máxima (Tmax) y temperatura mínima (Tmin) diaria.
- Humedad del aire: el promedio diario de la presión real de vapor (ea) derivada de lecturas psicométricas, de la temperatura del punto de condensación o de los datos de humedad relativa.
- Velocidad del viento: valores promedio diarios para 24 horas de la velocidad diaria del viento medida a una altura de 2 m (u2).
- Radiación: Radiación neta diaria (Rn) medida o calculada de la radiación solar de onda corta y de la radiación de onda larga o de la duración real de las horas diarias de insolación (n). La radiación extraterrestre (Ra) y las horas de duración máximade insolación (N) para un día especifico del mes.

Parámetros Atmosféricos

Presión Atmosférica (P)

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

$$P = 101.3\left(\frac{293-0.0065Z}{293}\right)^{5.26} \quad \text{.....[17]}$$

Donde:

P: Presión atmosférica [kPa]

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

Calor latente de vaporización (λ)

El calor latente de vaporización, λ, expresa la energía requerida para cambiar una masa de unidad de agua líquida a vapor de agua bajo presión y temperatura constantes. El valor del calor latente de vaporización varía en función de la temperatura. Cuanto más elevada sea la temperatura, menos energía será requerida. Como λ varia levemente dentro de rangos de temperaturas normales, se considera un valor constante de 2,45 MJ kg-1 para la simplificación de la ecuación de FAO Penman-Monteith. Este valor corresponde al calor latente de vaporización a una temperatura del aire de alrededor de 20 °C.

Constante Psicrométrica (γ)

La constante psicrométrica, γ, se calcula por:

$$\gamma = \frac{C_p P}{\varepsilon \lambda} = 0.665 * P * 10^{-3} \text{.....[18]}$$

Donde:

γ: Constante psicrometría [kPa °C-1],

P: presión atmosférica [kPa],

λ : calor latente de vaporización, 2,45 [MJ kg-1],

cp: calor especifico a presión constante, 1,013 x 10-3 [MJ kg-°C-1],

ε: cociente del peso molecular de vapor de agua /aire seco=0,622.

Temperatura media del aire (T)

Las estaciones meteorológicas electrónicas comúnmente hacen un muestreo de la temperatura del aire cada minuto y entregan promedios horarios además de los valores máximo y mínimo en 24 horas.

Debido a la relación no línea de la humedad con la temperatura, ambas incluidas en la ecuación Penman Monteith, la presión de vapor para cierto periodo se deben calcular como la media entre la presión de vapor

bajo la temperatura mínima del aire en ese periodo. La temperatura máxima diaria del aire (Tmax) y la temperatura mínima diaria del aire (Tmin) son respectivamente, la máxima y la mínima temperatura del aire observadas durante un periodo de 24 horas.

$$T_{media} = \frac{T_{max}+T_{min}}{2} \quad \text{.....[19]}$$

Presión media de vapor de la saturación (e_s)

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

$$e^{o}(T) = 0.6108 * e^{\left(\frac{17.27*T}{T+237.3}\right)} \quad \text{..... [20]}$$

Donde:

e°(T): Presión de saturación de vapor a la temperatura del aire (kpa).

T : temperatura del aire (°C).

e : 2.7183.

La presión media de saturación de vapor para un día, semana, mes, debe ser calculada como el promedio de la presión de saturación de vapor es la temperatura máxima media y presión de saturación de vapor a la temperatura mínima media del aire para ese periodo:

$$e_s = \frac{e^{o}(T_{max})+e^{o}(T_{min})}{2} \quad \text{.....[21]}$$

Donde:

e_s :Presión media de vapor de saturación.

$e°_{(Tmax)}$:Presión de saturación de vapor a la temperatura del aire, T máxima (Kpa).

$e°_{(Tmin)}$:Presión de saturación de vapor a la temperatura del aire, T mínima (Kpa).

Pendiente de la curva de presión de saturación de vapor (Δ)

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

$$\Delta = \frac{4098*(0.6108*e^{\left(\frac{17.27*T}{T+237.3}\right)})}{(T+237.3)^2} \quad \text{.....[22]}$$

Donde:

Δ **:** Pendiente de la curva de la presión de saturación de vapor a la temperatura del aire T [kPa°C^{-1}].

T : Temperatura del aire [°C].

e : 2.7183 (base del logaritmo natural).

Presión real de vapor (e_a)

La presión real de vapor se puede también derivar de la humedad relativa. Dependiendo de la disponibilidad de datos de humedad.

$$e_a = \frac{e^{o}(T_{min})*\frac{HR_{max}}{100}+e^{o}(T_{max})*\frac{HR_{mín}}{100}}{2} \quad \text{.....[23]}$$

Donde:

e_s : Presión media de vapor de saturación.

$e°(T_{max})$: Presión de saturación de vapor a la temperatura de aire, T máxima (kpa).

$e°(T_{min})$: Presión de saturación de vapor a la temperatura de aire, T mínima (kpa).

HR_{max} : Humedad relativa máxima (%)

HR_{min} : Humedad relativa mínima (%)

Radiación extraterrestre para periodos diarios (Ra)

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

$$R_a = \frac{24*60}{\pi} G_{sc} d_r [\omega_s sen\varphi * sen\delta + cos\varphi * cos\delta * sen\omega] \ldots\ldots\ldots [24]$$

Donde:

Ra **:** Radiación extraterrestre [MJ m-2 dia^{-1}]

Gsc **:** Constante solar = 0,082 MJ m-2 min^{-1},

dr **:** Distancia relativa inversa Tierra-Sol

ωs **:** Ángulo de radiación a la puesta del sol [rad]

ϕ **:** Latitud [rad]

δ **:** Declinación solar [rad].

La distancia relativa inversa Tierra – Sol dr, y la declinación solar, δ están dadas por:

$$d_r = 1 + 0.033 * \cos\left(\frac{2\pi}{365} J\right) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots [25]$$

$$\delta = 0.409 * \text{sen}\left(\frac{2\pi}{365} J - 1.39\right) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots [26]$$

Donde:

J **:** es el número del día en el año entre 1 (1 de enero) y 365 (31 de diciembre).

$$w_s = \frac{\pi}{2} - \arctan(-\tan\varphi * \tan\delta) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots [27]$$

Duración máxima de la insolación (N)

La duración máxima de la insolación está dado por:

$$N = \frac{24}{\pi} w_s \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots [28]$$

Radiación solar (R_S)

Si no se cuenta con medidas directas de radiación solar, R_S, esta puede ser calculada a través de la aplicación de la fórmula de Angstrom que relaciona la radiación solar con la radiación extraterrestre y la duración relativa de la insolación:

$$R_S = \left(a_s + b_s \frac{n}{N}\right) R_a \quad \text{[29]}$$

Donde:

R_S : Radiación solar o de onda corta ($MJm^{-2}dia^{-1}$).

n : Duración real de insolación (horas).

N : Duración máxima posible de insolación (horas).

n/N : Duración relativa de insolación.

R_a : Radiación extraterrestre ($MJm^{-2}dia^{-}$).

a_s : Constante de regresión, que expresa la fracción radiación extraterrestre que llega a la tierra en días muy nublados (n=0).

$a_s + b_s$: Fracción de la radiación extraterrestre que llega a la tierra en días despejados (n=N) se recomienda usar valores de a_s=0.25 y de b_s=0.50.

Radiación solar en un día despejado (R_{SO})

La radiación en días despejados, R_{SO} cuando n=N, puede ser calculado de la siguiente forma:

Para localidades cerca al nivel del mar, en casos en que los valores calibrados de a_s y b_s:

$$R_{SO} = (0.75 + 2 * 10^{-5} * Z) * R_a \quad \text{[30]}$$

Donde:

Z : Elevación de la estación sobre el nivel del mar (m).

Radiación neta solar o de onda corta (R_{ns})

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

$$R_{ns} = (1 - \alpha) * R_s \text{……..……...…..…} \quad [31]$$

Donde:

R_{ns} **:** Radiación neta solar de onda corta ($MJm^{-2}dia^{-1}$).

α **:** Albedo o coeficiente de reflexión del cultivo , que es de 0.23 para cultivo hipotético de referencia (adimensional).

R_S **:** Radiación solar entrante ($MJm^{-2}dia^{-1}$).

Radiación neta de onda larga (R_{nl})

El vapor de agua, las nubes, dióxido de carbono y el polvo absorben y emiten radiación de onda larga. Por ello se debe conocer sus concentraciones para determinar el flujo saliente neto. Como humedad y la nubosidad tienen un papel importante cuando se estima el flujo saliente neto de la radiación de onda larga

$$R_{nl} = \sigma \left(\frac{T_{max,k}{}^4 + T_{min,k}{}^4}{2}\right) * \left(0.34 - 0.14\sqrt{e_a}\right)\left(1.35\frac{R_S}{R_{SO}} - 0.35\right). \quad [32]$$

Donde:

R_{sl} **:** Radiación neta solar de onda larga ($MJm^{-2}dia^{-1}$).

σ **:** Constante de Stefan–Boltzman ($4.903x10^{-9}$ $MJK^{-4}m^{-2}dia^{-1}$).

$T_{max,K}$ **:** Temperatura máxima absoluta durante un periodo de 24 horas (K=°C+273.16).

$T_{min,K}$ **:** Temperatura mínima absoluta durante un periodo de 24 horas (K=°C+273.16).

e_a **:** Presión de vapor real (kpa).

R_S/R_{SO} : Radiación relativa de onda corta (valores < 1.0).

R_S : Radiación solar entrante ($MJm^{-2}dia^{-1}$).

R_{SO} : Radiación en un día despejado ($MJm^{-2}dia^{-1}$).

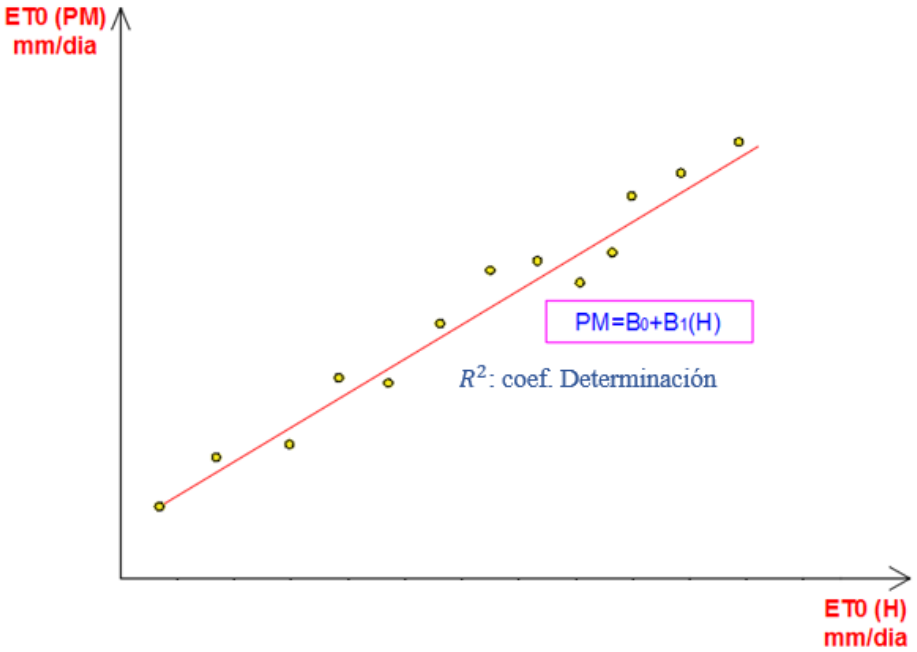
Radiación neta (R_n)

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

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \quad [33]$$

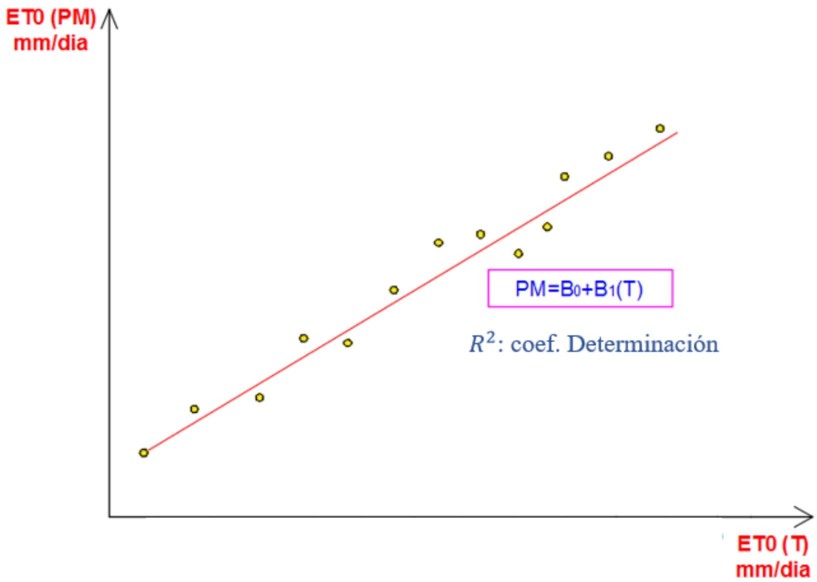
Luego de realizar los cálculos de las estimaciones del ETo, en la misma hoja de cálculo del Excel se realiza la gráfica de la estimación del ETo diario de cada mes (de enero a diciembre) por la ecuación estándar de Penman Monteith en el eje de las ordenadas y en el eje de las abscisas la estimación del ETo diario de cada mes (de enero a diciembre), por la ecuación de Hargreaves, luego se realiza el cálculo del coeficiente de determinación e identificar si está dentro del rango adecuado para determinar si la variable independiente está explicando bien a la variable dependiente.

Grafico 1. Regresión lineal (ET0 Penman-Monteith vs ET0 Hargreaves).



Así mismo se realiza en la misma hoja de cálculo del Excel la gráfica de la estimación del ETo diario de cada mes (de enero a diciembre) por la ecuación estándar de Penman Monteirh en el eje de las ordenadas y en el eje de las abscisas la estimación del ETo diario de cada mes (de enero a diciembre), por la ecuación de Turc, luego se realiza el cálculo del coeficiente de determinación e identificar si está dentro del rango adecuado para determinar si la variable independiente está explicando bien a la variable dependiente.

Grafico 2. Regresión lineal (ET0 Penman-Monteith vs ET0 Turc).



3.3.8 Análisis estadístico de la información.

Modelo de la ecuación de regresión:

La ecuación general de la regresión lineal que se plantea como la ecuación de modelo:

$\mathrm{PM} = \beta_0 + \beta_i HG$.. [34]

Estimación de los dos parámetros que miden el grado de asociación correlativa. (R^2, R).

Prueba de significación de los parámetros estadísticos que miden la asociación correlativa, para lo cual se aplica la prueba "t".

Se plantea la hipótesis

H0: $\rho = 0$ (ρ es el coeficiente de correlación poblacional y su valor varía entre -1 y 1).
Ha: $\rho \neq 0$.

Calculo de t calculado (t_c)

Se utiliza la ecuación N°14

Calculo del t tabular (t_t)

El t_t se obtiene de las tablas preparadas para este efecto, con un nivel de significación α o una probabilidad de $(1- \alpha)$, y con un grado de libertad ($\nu = n-2$), donde n es el número de pares de valores.

Criterios de decisión:

Si $|t_c| \leq t_t$, se acepta la hipótesis nula, por lo que $\rho = 0$, y por lo tanto no hay correlación significativa.

Si $|t_c| \geq t_t$, se rechaza la hipótesis nula por lo que $\rho \neq 0$, indicándose que es significativo y por lo tanto existe correlación entre las variables.

CAPITULO IV

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Resultados

- Estimación de la evapotranspiración de referencia (ETo) diaria por las ecuaciones empíricas de Penman Monteith (FAO), Hargreaves y Turc, de la estación meteorológica Mina ubicado en el sector Mataquita del distrito de Jangas de la Provincia de Huaraz-Ancash, las cuales se muestran en los cuadros del 1 al 12.

- Modelos lineales y coeficientes de determinación de la evapotranspiración de referencia (ETo) diario entre el método de Penman Monteith (FAO) y Hargreaves. Figura 1 al 12.

- Modelos lineales y coeficientes de determinación de la evapotranspiración de referencia (ETo) diario entre el método de Penman Monteith (FAO) y Turc. Figura 13 al 24.

- Estimación de la evapotranspiración de referencia (ETo) diaria entre los métodos de Penman Monteith (FAO) y Hargreaves y Hargreaves calibrado. Cuadro 13 al 24.

- Estimación de la evapotranspiración de referencia (ETo) diaria entre los métodos de Penman Monteith (FAO) y Turc y Turc calibrado. Cuadro 24 al 36.

- Análisis estadístico diario de la Evapotranspiración de Referencia ETo método de Penman-Monteith (PM) y Hargreaves (H). cuadro 37.

- Análisis estadístico diario de la Evapotranspiración de Referencia ETo método de Penman-Monteith (PM) y Turc (H). cuadro 38.

- Ecuaciones de correlación de Penman Monteith y Hargreaves mediante el siguiente modelo lineal ETo (PM) = a + b ETo(H). cuadro 39

- Ecuaciones de correlación de Penman Monteith y Turc mediante el siguiente modelo lineal ETo (PM) = a + b ETo(T). cuadro 40

- Modelos lineales y coeficientes de determinación de la evapotranspiración de referencia (ETo) mensual entre el método de Penman Monteith (FAO) y Hargreaves. Figura 25

- Estimación de la evapotranspiración de referencia (ETo) mensual entre los métodos de Penman Monteith (FAO) y Hargreaves y Hargreaves calibrado. Cuadro 41

- Modelos lineales y coeficientes de determinación de la evapotranspiración de referencia (ETo) mensual entre el método de Penman Monteith (FAO) y Turc. Figura 26

- Estimación de la evapotranspiración de referencia (ETo) mensual entre los métodos de Penman Monteith (FAO) y Turc y Turc calibrado. Cuadro 42

TABLA 1. Cálculo de la Evapotranspiración de Referencia ETo Método Penman Monteith (PM), Hargreaves (H) y Turc(T), Estación Meteorológica Mina-Mataquita-Jangas, periodo: 2004-2013, mes de Enero

DEPARTAMENTO : ANCASH ALTITUD : 3280 m.s.n.m PRESIÓN ATMOSFÉRICA P= 68.08 kpa MES : ENERO
PROVINCIA : HUARAZ
DISTRITO : JANGAS LATITUD : 9° 25' 37.50" φ= 9.43 CONSTANTE PSICROMÉTRICA Y= 0.045 kPa/°C ESTACIÓN METEOROLOGICA : MINA
CASERÍO : MATAQUITA

Días	Tmín (°C)	Tmax (°C)	Tmed. (°C)	HRmín (%)	HRmáx (%)	V_2 (m/s)	Rs w/m²	e°mín kpa	e°mán kpa	es kpa	Δ (Kpa/°C)	ea kpa	es-ea kpa	J (días)	dr	δ (Rad)	ws (Rad)	senφ*senδ	cosφ*cosδ	Ra (MJ/m²día)	Rs (MJ/m²día)	Rso (MJ/m²día)	Rns (MJ/m²día)	Rnl (MJ/m²día)	Rn (MJ/m²día)	ETo (PM) (mm/día)	ETo(H) (mm/día)	ETo(T) (mm/día)
1	4.09	10.68	7.39	42.77	87.04	2.12	379.74	0.82	1.29	1.05	0.07	0.63	0.42	1	1.03	-0.40	1.64	0.064	0.908	39.25	32.81	32.01	25.26	9.62	15.64	3.90	4.55	3.39
2	4.11	11.07	7.59	41.60	84.59	2.35	360.78	0.82	1.32	1.07	0.07	0.62	0.45	2	1.03	-0.40	1.64	0.064	0.909	39.26	31.17	32.02	24.00	9.20	14.80	3.82	4.36	3.30
3	4.35	10.30	7.32	46.12	81.18	2.38	291.33	0.83	1.25	1.04	0.07	0.63	0.42	3	1.03	-0.40	1.64	0.063	0.909	39.26	25.17	32.02	19.38	7.38	12.00	3.20	3.48	2.60
4	4.35	10.28	7.32	43.04	86.62	2.29	304.16	0.83	1.25	1.04	0.07	0.63	0.41	4	1.03	-0.40	1.64	0.063	0.910	39.27	26.28	32.03	20.24	7.70	12.54	3.29	3.63	2.70
5	4.11	9.88	7.00	48.46	88.00	2.17	293.27	0.82	1.22	1.02	0.07	0.66	0.36	5	1.03	-0.39	1.64	0.063	0.911	39.28	25.34	32.04	19.51	7.31	12.20	3.10	3.46	2.50
6	3.73	10.08	6.91	47.56	87.35	2.41	308.13	0.80	1.23	1.02	0.07	0.64	0.37	6	1.03	-0.39	1.64	0.063	0.911	39.29	26.62	32.04	20.50	7.71	12.79	3.24	3.62	2.61
7	3.98	11.09	7.54	43.58	85.73	2.55	324.08	0.81	1.32	1.07	0.07	0.64	0.43	7	1.03	-0.39	1.64	0.062	0.912	39.29	28.00	32.05	21.56	8.21	13.35	3.51	3.90	2.94
8	4.53	10.51	7.52	44.16	81.96	2.29	341.06	0.84	1.27	1.06	0.07	0.63	0.43	8	1.03	-0.39	1.64	0.062	0.913	39.30	29.47	32.05	22.69	8.66	14.03	3.63	4.11	3.10
9	4.28	10.25	7.26	46.66	82.03	2.15	304.44	0.83	1.25	1.04	0.07	0.63	0.41	9	1.03	-0.39	1.64	0.062	0.914	39.31	26.30	32.06	20.25	7.69	12.57	3.28	3.63	2.70
10	4.11	10.23	7.17	45.26	81.41	2.54	298.94	0.82	1.25	1.03	0.07	0.62	0.42	10	1.03	-0.38	1.64	0.061	0.915	39.32	25.83	32.07	19.89	7.58	12.31	3.27	3.55	2.63
11	4.39	9.95	7.17	48.31	85.04	2.33	329.26	0.84	1.22	1.03	0.07	0.65	0.38	11	1.03	-0.38	1.64	0.061	0.916	39.32	28.45	32.07	21.90	8.24	13.67	3.43	3.91	2.87
12	4.02	10.69	7.35	43.28	85.77	2.42	367.56	0.81	1.29	1.05	0.07	0.63	0.42	12	1.03	-0.38	1.64	0.061	0.917	39.33	31.76	32.08	24.45	9.30	15.15	3.82	4.40	3.28
13	4.51	11.01	7.76	39.87	82.28	2.46	339.00	0.84	1.31	1.08	0.07	0.61	0.47	13	1.03	-0.38	1.64	0.060	0.918	39.34	29.29	32.09	22.55	8.69	13.86	3.71	4.12	3.16
14	4.72	10.00	7.36	48.11	82.03	2.65	301.53	0.86	1.23	1.04	0.07	0.65	0.40	14	1.03	-0.37	1.64	0.060	0.919	39.35	26.05	32.09	20.06	7.57	12.49	3.26	3.61	2.69
15	4.07	10.43	7.25	45.06	84.96	2.31	312.81	0.82	1.26	1.04	0.07	0.63	0.41	15	1.03	-0.37	1.64	0.059	0.920	39.35	27.03	32.10	20.81	7.89	12.92	3.36	3.73	2.76
16	4.17	10.34	7.26	45.96	85.30	2.32	317.72	0.82	1.26	1.04	0.07	0.64	0.40	16	1.03	-0.37	1.63	0.059	0.921	39.36	27.45	32.10	21.14	7.99	13.15	3.38	3.79	2.80
17	4.01	9.07	6.54	53.64	81.52	1.84	257.76	0.81	1.15	0.98	0.07	0.64	0.34	17	1.03	-0.36	1.63	0.058	0.922	39.37	22.27	32.11	17.15	6.41	10.74	2.74	2.98	2.10
18	4.16	10.80	7.48	49.96	82.70	2.15	305.19	0.82	1.30	1.06	0.07	0.66	0.40	18	1.03	-0.36	1.63	0.058	0.923	39.37	26.37	32.11	20.30	7.62	12.68	3.28	3.67	2.74
19	4.09	10.80	7.44	49.17	81.28	2.61	286.61	0.82	1.30	1.06	0.07	0.65	0.41	19	1.03	-0.36	1.63	0.057	0.924	39.38	24.76	32.12	19.07	7.19	11.88	3.18	3.44	2.57
20	4.26	11.11	7.68	36.87	76.24	2.20	313.48	0.83	1.32	1.08	0.07	0.56	0.52	20	1.03	-0.35	1.63	0.057	0.925	39.38	27.08	32.12	20.85	8.18	12.68	3.55	3.80	2.95
21	3.83	10.94	7.38	37.78	77.89	2.28	315.31	0.80	1.31	1.06	0.07	0.56	0.50	21	1.03	-0.35	1.63	0.056	0.927	39.39	27.24	32.13	20.98	8.19	12.79	3.53	3.78	2.88
22	3.93	9.91	6.92	46.64	84.40	2.21	288.52	0.81	1.22	1.02	0.07	0.63	0.39	22	1.03	-0.35	1.63	0.056	0.928	39.39	24.93	32.13	19.19	7.25	11.95	3.11	3.39	2.46
23	3.81	10.05	6.93	44.77	85.17	2.43	300.37	0.80	1.23	1.02	0.07	0.62	0.40	23	1.03	-0.34	1.63	0.055	0.929	39.40	25.95	32.13	19.98	7.57	12.41	3.23	3.53	2.57
24	4.17	9.85	7.01	48.82	81.48	2.19	299.74	0.82	1.22	1.02	0.07	0.63	0.39	24	1.03	-0.34	1.63	0.054	0.930	39.40	25.90	32.13	19.94	7.52	12.42	3.19	3.54	2.58
25	4.12	9.53	6.82	49.25	83.71	2.07	314.43	0.82	1.19	1.00	0.07	0.64	0.37	25	1.03	-0.33	1.63	0.054	0.932	39.40	27.17	32.14	20.92	7.86	13.06	3.26	3.68	2.65
26	4.19	10.61	7.40	43.28	81.71	2.14	364.08	0.82	1.28	1.05	0.07	0.61	0.44	26	1.03	-0.33	1.63	0.053	0.933	39.40	31.46	32.14	24.22	9.25	14.97	3.81	4.36	3.28
27	4.56	10.17	7.37	47.54	87.36	1.93	343.64	0.85	1.24	1.04	0.07	0.66	0.38	27	1.03	-0.33	1.63	0.053	0.934	39.41	29.69	32.14	22.86	8.56	14.30	3.56	4.11	3.05
28	4.54	11.53	8.03	44.85	87.00	2.14	373.77	0.84	1.36	1.10	0.07	0.67	0.43	28	1.03	-0.32	1.63	0.052	0.936	39.41	32.29	32.14	24.87	9.37	15.49	3.94	4.59	3.52
29	4.13	9.35	6.74	53.08	87.11	2.10	287.09	0.82	1.18	1.00	0.07	0.67	0.33	29	1.03	-0.32	1.63	0.051	0.937	39.41	24.80	32.14	19.10	7.07	12.03	2.98	3.35	2.37
30	4.16	9.45	6.80	53.91	86.79	2.29	283.25	0.82	1.18	1.00	0.07	0.68	0.33	30	1.03	-0.31	1.62	0.051	0.938	39.40	24.47	32.14	18.84	6.97	11.88	2.95	3.31	2.35
31	4.50	11.11	7.81	43.20	82.84	2.56	391.71	0.84	1.32	1.08	0.07	0.63	0.45	31	1.03	-0.31	1.62	0.050	0.940	39.40	33.84	32.14	26.06	9.93	16.13	4.09	4.77	3.65

Elaboracion propia.

TABLA 2. Cálculo de la Evapotranspiración de Referencia ETo Método Penman Monteith (PM), Hargreaves (H) y Turc (T), Estación Meteorológica Mina-Mataquita-Jangas, periodo: 2004-2013, mes de Febrero

DEPARTAMENTO : ANCASH ALTITUD : 3280 m.s.n.m PRESIÓN ATMOSFÉRICA P= 68.08 kpa MES : FEBRERO
PROVINCIA : HUARAZ
DISTRITO : JANGAS LATITUD : 9° 25' 37.50" φ= 9.43 CONSTANTE PSICROMÉTRICA Y= 0.045 kPa/°C ESTACIÓN METEOROLOGICA : MINA
CASERÍO : MATAQUITA

Días	Tmín (°C)	Tmax (°C)	Tmed. (°C)	HRmín (%)	HRmáx (%)	V_2 (m/s)	Rs w/m²	e°mín kpa	e°mán kpa	es kpa	Δ (Kpa/°C)	ea kpa	es-ea kpa	J (días)	dr	δ (Rad)	ws (Rad)	senφ*senδ	cosφ*cosδ	Ra (MJ/m²día)	Rs (MJ/m²día)	Rso (MJ/m²día)	Rns (MJ/m²día)	Rnl (MJ/m²día)	Rn (MJ/m²día)	ETo (PM) (mm/día)	ETo(H) (mm/día)	ETo(T) (mm/día)
1	3.96	11.66	7.81	37.47	85.37	2.72	437.38	0.81	1.37	1.09	0.07	0.60	0.49	32	1.03	-0.30	1.62	0.049	0.941	39.40	37.79	32.13	29.10	11.23	17.87	4.51	5.33	4.09
2	3.55	9.88	6.72	46.19	85.53	2.20	303.45	0.79	1.22	1.00	0.07	0.62	0.38	33	1.03	-0.30	1.62	0.048	0.943	39.39	26.22	32.13	20.19	7.63	12.56	3.20	3.54	2.53
3	3.88	8.93	6.40	58.96	86.99	2.00	244.78	0.81	1.14	0.97	0.07	0.69	0.29	34	1.03	-0.29	1.62	0.048	0.944	39.39	21.15	32.12	16.28	5.96	10.32	2.55	2.82	1.92
4	4.25	9.28	6.77	55.40	88.55	1.90	242.82	0.83	1.17	1.00	0.07	0.69	0.31	35	1.03	-0.29	1.62	0.047	0.945	39.38	20.98	32.12	16.15	5.94	10.21	2.59	2.84	1.99
5	4.12	10.74	7.43	48.72	87.02	2.31	346.82	0.82	1.29	1.06	0.07	0.67	0.38	36	1.03	-0.28	1.62	0.046	0.947	39.37	29.97	32.11	23.07	8.63	14.44	3.60	4.16	3.09
6	3.70	10.90	7.30	46.49	85.92	2.33	320.97	0.80	1.30	1.05	0.07	0.65	0.40	37	1.03	-0.28	1.62	0.045	0.948	39.37	27.73	32.11	21.35	8.06	13.30	3.42	3.83	2.84
7	4.18	9.87	7.03	56.35	85.55	2.31	236.11	0.82	1.22	1.02	0.07	0.70	0.33	38	1.03	-0.27	1.62	0.044	0.950	39.35	20.40	32.10	15.71	5.79	9.92	2.59	2.79	1.99
8	4.25	10.23	7.24	50.25	85.66	2.30	316.60	0.83	1.25	1.04	0.07	0.67	0.37	39	1.03	-0.27	1.62	0.044	0.951	39.34	27.35	32.09	21.06	7.87	13.19	3.32	3.77	2.77
9	3.69	11.84	7.76	44.42	87.68	2.14	376.84	0.80	1.39	1.09	0.07	0.66	0.43	40	1.03	-0.26	1.62	0.043	0.952	39.33	32.56	32.08	25.07	9.49	15.58	3.95	4.58	3.47
10	3.93	10.49	7.21	49.51	86.82	2.31	306.65	0.81	1.27	1.04	0.07	0.67	0.37	41	1.03	-0.26	1.61	0.042	0.954	39.32	26.49	32.07	20.40	7.64	12.76	3.24	3.65	2.67
11	4.10	9.22	6.66	54.84	87.48	2.33	276.48	0.82	1.17	0.99	0.07	0.68	0.31	42	1.02	-0.25	1.61	0.041	0.955	39.30	23.89	32.05	18.39	6.80	11.59	2.86	3.22	2.25
12	3.88	8.92	6.40	56.92	87.90	1.90	220.58	0.81	1.14	0.97	0.07	0.68	0.29	43	1.02	-0.25	1.61	0.040	0.956	39.28	19.06	32.04	14.67	5.40	9.27	2.36	2.54	1.72
13	4.10	9.17	6.64	59.39	85.36	2.15	259.22	0.82	1.16	0.99	0.07	0.69	0.30	44	1.02	-0.24	1.61	0.039	0.958	39.26	22.40	32.02	17.25	6.34	10.91	2.69	3.01	2.09
14	4.10	9.75	6.93	52.33	86.08	2.09	286.38	0.82	1.21	1.01	0.07	0.67	0.34	45	1.02	-0.24	1.61	0.038	0.959	39.24	24.74	32.01	19.05	7.11	11.95	3.01	3.37	2.41
15	4.01	9.26	6.64	56.05	85.33	2.19	276.51	0.81	1.17	0.99	0.07	0.67	0.32	46	1.02	-0.23	1.61	0.037	0.960	39.22	23.89	31.99	18.40	6.82	11.58	2.86	3.21	2.25
16	3.67	9.86	6.76	50.69	85.24	2.22	310.47	0.79	1.22	1.01	0.07	0.65	0.36	47	1.02	-0.22	1.61	0.036	0.962	39.20	26.82	31.97	20.66	7.76	12.90	3.21	3.63	2.59
17	3.81	8.64	6.23	54.44	84.22	1.99	247.44	0.80	1.12	0.96	0.07	0.64	0.32	48	1.02	-0.22	1.61	0.036	0.963	39.17	21.38	31.95	16.46	6.15	10.31	2.60	2.83	1.93
18	3.31	9.71	6.51	45.78	84.44	2.25	314.84	0.77	1.20	0.99	0.07	0.60	0.39	49	1.02	-0.21	1.61	0.035	0.964	39.15	27.20	31.93	20.95	7.99	12.96	3.27	3.64	2.58
19	3.56	9.50	6.53	46.17	84.87	2.05	341.15	0.79	1.19	0.99	0.07	0.61	0.38	50	1.02	-0.21	1.61	0.034	0.966	39.12	29.48	31.91	22.70	8.64	14.05	3.46	3.95	2.80
20	3.45	8.25	5.85	57.59	86.27	1.98	240.20	0.78	1.09	0.94	0.06	0.65	0.29	51	1.02	-0.20	1.60	0.033	0.967	39.09	20.75	31.88	15.98	5.93	10.05	2.47	2.70	1.77
21	3.20	9.20	6.20	52.58	82.83	2.20	253.86	0.77	1.16	0.97	0.07	0.62	0.34	52	1.02	-0.19	1.60	0.032	0.968	39.06	21.93	31.85	16.89	6.37	10.52	2.70	2.90	1.99
22	3.39	9.18	6.29	50.66	83.26	2.05	276.03	0.78	1.16	0.97	0.07	0.62	0.35	53	1.02	-0.19	1.60	0.031	0.969	39.02	23.85	31.83	18.36	6.96	11.41	2.89	3.16	2.19
23	3.68	8.92	6.30	55.30	85.35	1.87	246.49	0.80	1.14	0.97	0.07	0.66	0.31	54	1.02	-0.18	1.60	0.030	0.970	38.99	21.30	31.80	16.40	6.13	10.27	2.58	2.82	1.93
24	3.04	10.76	6.90	46.37	88.14	2.12	340.06	0.76	1.29	1.03	0.07	0.63	0.39	55	1.02	-0.18	1.60	0.029	0.971	38.95	29.38	31.77	22.62	8.61	14.01	3.50	3.99	2.88
25	3.65	9.82	6.73	52.03	87.70	2.08	270.49	0.79	1.21	1.00	0.07	0.66	0.34	56	1.02	-0.17	1.60	0.028	0.972	38.91	23.37	31.74	18.00	6.76	11.23	2.85	3.16	2.23
26	3.96	9.42	6.69	53.67	84.36	2.10	248.02	0.81	1.18	1.00	0.07	0.66	0.34	57	1.02	-0.16	1.60	0.027	0.973	38.87	21.43	31.70	16.50	6.21	10.29	2.66	2.89	2.04
27	3.92	9.42	6.67	50.57	85.66	2.05	234.68	0.81	1.18	0.99	0.07	0.64	0.35	58	1.02	-0.16	1.60	0.025	0.975	38.83	20.28	31.67	15.61	5.92	9.70	2.57	2.73	1.93
28	3.69	9.40	6.55	49.36	87.38	2.00	262.38	0.80	1.18	0.99	0.07	0.64	0.35	59	1.02	-0.15	1.60	0.024	0.975	38.78	22.67	31.63	17.46	6.63	10.83	2.78	3.04	2.13
29	3.04	9.45	6.25	52.68	84.40	1.95	241.27	0.76	1.18	0.97	0.07	0.63	0.34	60	1.02	-0.14	1.59	0.023	0.976	38.73	20.85	31.59	16.05	6.09	9.96	2.58	2.76	1.89

Elaboración propia.

TABLA 3. Cálculo de la Evapotranspiración de Referencia ETo Método Penman Monteith (PM), Hargreaves (H) y Turc (T), Estación Meteorológica Mina-Mataquita-Jangas, periodo: 2004-2013, mes de Marzo

DEPARTAMENTO : ANCASH ALTITUD : 3280 m.s.n.m PRESIÓN ATMOSFÉRICA P= 68.08 kpa MES : MARZO
PROVINCIA : HUARAZ
DISTRITO : JANGAS LATITUD : 9° 25' 37.50" φ= 9.43 CONSTANTE PSICROMÉTRICA Y= 0.045 kPa/°C ESTACIÓN METEOROLOGICA : MINA
CASERÍO : MATAQUITA

Días	Tmín (°C)	Tmax (°C)	Tmed. (°C)	HRmín (%)	HRmáx (%)	V_2 (m/s)	Rs w/m²	e°mín kpa	e°mán kpa	es kpa	Δ (Kpa/°C)	ea kpa	es-ea kpa	J (días)	dr	δ (Rad)	ws (Rad)	senφ*senδ	cosφ*cosδ	Ra (MJ/m²día)	Rs (MJ/m²día)	Rso (MJ/m²día)	Rns (MJ/m²día)	Rnl (MJ/m²día)	Rn (MJ/m²día)	ETo (PM) (mm/día)	ETo(H) (mm/día)	ETo(T) (mm/día)
1	3.91	10.34	7.13	45.11	81.82	1.99	257.12	0.81	1.26	1.03	0.07	0.61	0.42	61	1.02	-0.14	1.59	0.022	0.977	38.68	22.21	31.55	17.11	6.63	10.48	2.87	3.05	2.26
2	4.50	9.73	7.11	47.46	78.83	2.11	255.01	0.84	1.21	1.02	0.07	0.62	0.41	62	1.02	-0.13	1.59	0.021	0.978	38.63	22.03	31.51	16.97	6.57	10.39	2.85	3.02	2.24
3	4.46	10.15	7.31	46.14	82.45	2.30	277.65	0.84	1.24	1.04	0.07	0.63	0.41	63	1.02	-0.12	1.59	0.020	0.979	38.58	23.99	31.46	18.47	7.14	11.33	3.05	3.31	2.47
4	4.24	9.79	7.02	50.04	85.83	2.00	283.81	0.83	1.21	1.02	0.07	0.66	0.36	64	1.01	-0.12	1.59	0.019	0.980	38.52	24.52	31.42	18.88	7.21	11.67	2.99	3.35	2.43
5	4.04	8.63	6.33	55.59	86.45	1.80	259.24	0.82	1.12	0.97	0.07	0.66	0.30	65	1.01	-0.11	1.59	0.018	0.981	38.47	22.40	31.37	17.25	6.52	10.73	2.65	2.97	2.03
6	3.86	8.68	6.27	56.00	85.58	1.87	247.18	0.81	1.12	0.96	0.07	0.66	0.31	66	1.01	-0.10	1.59	0.017	0.981	38.41	21.36	31.32	16.44	6.23	10.21	2.56	2.83	1.93
7	3.56	8.45	6.00	55.18	85.55	1.96	244.55	0.79	1.11	0.95	0.06	0.64	0.30	67	1.01	-0.10	1.59	0.016	0.982	38.34	21.13	31.27	16.27	6.19	10.08	2.52	2.77	1.85
8	3.88	9.70	6.79	48.81	83.74	2.04	255.23	0.81	1.20	1.00	0.07	0.63	0.37	68	1.01	-0.09	1.59	0.015	0.983	38.28	22.05	31.22	16.98	6.57	10.41	2.76	2.98	2.14
9	3.88	10.34	7.11	46.45	84.28	2.52	280.05	0.81	1.26	1.03	0.07	0.63	0.40	69	1.01	-0.08	1.58	0.013	0.983	38.22	24.20	31.17	18.63	7.26	11.37	3.05	3.32	2.44
10	3.81	8.86	6.33	53.13	84.78	2.10	222.46	0.80	1.14	0.97	0.07	0.64	0.33	70	1.01	-0.08	1.58	0.012	0.984	38.15	19.22	31.11	14.80	5.69	9.11	2.41	2.55	1.76
11	3.98	8.48	6.23	53.73	85.39	1.93	224.24	0.81	1.11	0.96	0.07	0.64	0.32	71	1.01	-0.07	1.58	0.011	0.984	38.08	19.37	31.06	14.92	5.73	9.19	2.38	2.56	1.74
12	3.70	8.37	6.03	55.88	85.32	2.08	194.10	0.80	1.10	0.95	0.06	0.65	0.30	72	1.01	-0.06	1.58	0.010	0.985	38.01	16.77	31.00	12.91	4.95	7.96	2.13	2.20	1.46
13	4.15	8.53	6.34	55.66	85.99	2.01	218.02	0.82	1.11	0.97	0.07	0.66	0.30	73	1.01	-0.05	1.58	0.009	0.985	37.93	18.84	30.94	14.50	5.56	8.94	2.32	2.50	1.71
14	3.75	9.15	6.45	52.09	85.70	2.17	241.20	0.80	1.16	0.98	0.07	0.64	0.33	74	1.01	-0.05	1.58	0.008	0.985	37.86	20.84	30.88	16.05	6.22	9.83	2.57	2.78	1.93
15	3.68	8.64	6.16	54.61	85.05	2.09	222.35	0.80	1.12	0.96	0.07	0.64	0.31	75	1.01	-0.04	1.58	0.007	0.986	37.78	19.21	30.81	14.79	5.72	9.07	2.36	2.53	1.71
16	3.46	10.11	6.79	48.39	85.11	2.11	305.88	0.78	1.24	1.01	0.07	0.63	0.38	76	1.01	-0.03	1.58	0.005	0.986	37.70	26.43	30.75	20.35	8.00	12.35	3.15	3.58	2.57
17	4.16	9.45	6.81	53.69	84.91	2.24	238.71	0.82	1.18	1.00	0.07	0.67	0.34	77	1.01	-0.03	1.58	0.004	0.986	37.62	20.62	30.68	15.88	6.17	9.71	2.56	2.79	1.98
18	4.12	9.88	7.00	56.65	85.81	2.13	263.50	0.82	1.22	1.02	0.07	0.70	0.32	78	1.01	-0.02	1.57	0.003	0.986	37.54	22.77	30.61	17.53	6.77	10.76	2.74	3.11	2.22
19	3.91	8.76	6.33	57.14	86.90	1.94	213.81	0.81	1.13	0.97	0.07	0.67	0.29	79	1.01	-0.01	1.57	0.002	0.986	37.45	18.47	30.55	14.22	5.50	8.72	2.26	2.45	1.66
20	3.90	8.96	6.43	56.13	86.74	2.16	241.88	0.81	1.14	0.98	0.07	0.67	0.30	80	1.01	-0.01	1.57	0.001	0.986	37.36	20.90	30.47	16.09	6.25	9.84	2.50	2.79	1.91
21	4.10	10.02	7.06	45.74	81.00	2.09	275.18	0.82	1.23	1.02	0.07	0.61	0.41	81	1.01	0.00	1.57	0.000	0.986	37.28	23.78	30.40	18.31	7.36	10.95	2.96	3.25	2.40
22	3.89	9.60	6.75	47.00	83.08	2.02	231.28	0.81	1.20	1.00	0.07	0.62	0.39	82	1.01	0.01	1.57	-0.001	0.986	37.19	19.98	30.33	15.39	6.16	9.22	2.55	2.70	1.94
23	4.02	9.76	6.89	48.98	81.51	2.13	243.12	0.81	1.21	1.01	0.07	0.63	0.38	83	1.00	0.02	1.57	-0.003	0.986	37.09	21.01	30.25	16.17	6.48	9.69	2.66	2.85	2.07
24	4.31	9.74	7.03	46.66	77.89	2.03	225.86	0.83	1.21	1.02	0.07	0.61	0.41	84	1.00	0.02	1.57	-0.004	0.986	37.00	19.51	30.18	15.03	6.10	8.93	2.57	2.67	1.97
25	4.26	9.64	6.95	46.87	78.08	1.93	258.49	0.83	1.20	1.01	0.07	0.60	0.41	85	1.00	0.03	1.57	-0.005	0.986	36.90	22.33	30.10	17.20	6.99	10.20	2.79	3.04	2.24
26	4.05	10.32	7.18	48.35	81.51	2.03	241.96	0.82	1.25	1.04	0.07	0.64	0.40	86	1.00	0.04	1.56	-0.006	0.986	36.81	20.91	30.02	16.10	6.51	9.59	2.67	2.87	2.12
27	3.78	9.53	6.65	50.52	83.66	2.02	216.54	0.80	1.19	1.00	0.07	0.64	0.36	87	1.00	0.04	1.56	-0.007	0.986	36.71	18.71	29.94	14.41	5.80	8.61	2.38	2.52	1.78
28	4.12	10.26	7.19	46.48	78.76	2.45	249.95	0.82	1.25	1.03	0.07	0.61	0.42	88	1.00	0.05	1.56	-0.008	0.985	36.61	21.60	29.86	16.63	6.82	9.81	2.81	2.97	2.21
29	4.22	9.31	6.77	46.28	81.00	1.93	213.80	0.83	1.17	1.00	0.07	0.61	0.39	89	1.00	0.06	1.56	-0.009	0.985	36.50	18.47	29.77	14.22	5.83	8.40	2.40	2.50	1.81
30	3.94	8.94	6.44	49.73	81.46	2.32	208.28	0.81	1.14	0.98	0.07	0.61	0.36	90	1.00	0.06	1.56	-0.011	0.984	36.40	18.00	29.69	13.86	5.65	8.21	2.34	2.40	1.69
31	3.34	9.70	6.52	47.13	84.08	2.09	220.09	0.78	1.20	0.99	0.07	0.61	0.38	91	1.00	0.07	1.56	-0.012	0.984	36.30	19.02	29.60	14.64	6.01	8.64	2.43	2.54	1.80

Elaboración propia.

TABLA 4. Cálculo de la Evapotranspiración de Referencia ETo Método Penman Monteith (PM), Hargreaves (H) y Turc (T), Estación Meteorológica Mina-Mataquita-Jangas, periodo: 2004-2013, mes de Abril

DEPARTAMENTO : ANCASH ALTITUD : 3280 m.s.n.m PRESIÓN ATMOSFÉRICA P= 68.08 kpa MES : ABRIL
PROVINCIA : HUARAZ
DISTRITO : JANGAS LATITUD : 9° 25' 37.50" φ= 9.43 CONSTANTE PSICROMÉTRICA γ= 0.0645 kPa/°C ESTACIÓN METEOROLOGICA : MINA
CASERÍO : MATAQUITA

Días	Tmín (°C)	Tmax (°C)	Tmed. (°C)	HRmín (%)	HRmáx (%)	V_2 (m/s)	Rs w/m²	e°mín kpa	e°mán kpa	es kpa	Δ (Kpa/°C)	ea kpa	es-ea kpa	J (días)	dr	δ (Rad)	ws (Rad)	senφ*senδ	cosφ*cosδ	Ra (MJ/m²día)	Rs (MJ/m²día)	Rso (MJ/m²día)	Rns (MJ/m²día)	Rnl (MJ/m²día)	Rn (MJ/m²día)	ETo (PM) (mm/día)	ETo(H) (mm/día)	ETo(T) (mm/día)
1	4.25	8.79	6.52	59.53	86.38	2.17	217.49	0.83	1.13	0.98	0.07	0.69	0.29	92	1.00	0.08	1.56	-0.013	0.983	36.19	18.79	29.52	14.47	5.76	8.71	2.25	2.52	1.72
2	4.13	9.63	6.88	52.79	85.08	2.33	272.14	0.82	1.20	1.01	0.07	0.67	0.34	93	1.00	0.09	1.56	-0.014	0.983	36.08	23.51	29.43	18.10	7.35	10.76	2.79	3.19	2.28
3	3.79	8.98	6.39	55.85	86.46	2.12	232.88	0.80	1.15	0.97	0.07	0.67	0.31	94	1.00	0.09	1.56	-0.015	0.982	35.97	20.12	29.34	15.49	6.26	9.23	2.39	2.68	1.83
4	3.61	8.55	6.08	55.25	87.24	1.94	228.92	0.79	1.11	0.95	0.07	0.65	0.30	95	1.00	0.10	1.55	-0.016	0.982	35.87	19.78	29.25	15.23	6.18	9.05	2.32	2.60	1.74
5	4.15	9.45	6.80	54.04	86.71	2.13	230.64	0.82	1.18	1.00	0.07	0.68	0.33	96	1.00	0.11	1.55	-0.017	0.981	35.75	19.93	29.16	15.34	6.25	9.09	2.42	2.70	1.90
6	4.49	9.63	7.06	55.99	86.21	2.09	238.86	0.84	1.20	1.02	0.07	0.70	0.32	97	1.00	0.11	1.55	-0.018	0.980	35.64	20.64	29.07	15.89	6.47	9.43	2.48	2.82	2.02
7	4.43	9.92	7.17	51.34	83.61	2.26	282.67	0.84	1.22	1.03	0.07	0.66	0.37	98	1.00	0.12	1.55	-0.020	0.979	35.53	24.42	28.98	18.81	7.79	11.02	2.89	3.36	2.46
8	4.08	9.95	7.02	51.38	84.93	2.23	275.71	0.82	1.22	1.02	0.07	0.66	0.36	99	1.00	0.13	1.55	-0.021	0.979	35.42	23.82	28.88	18.34	7.61	10.73	2.82	3.25	2.35
9	4.39	9.17	6.78	56.21	85.53	2.29	239.96	0.84	1.16	1.00	0.07	0.68	0.31	100	1.00	0.13	1.55	-0.022	0.978	35.30	20.73	28.79	15.96	6.57	9.40	2.46	2.81	1.97
10	3.74	9.63	6.68	53.53	87.28	2.07	263.72	0.80	1.20	1.00	0.07	0.67	0.33	101	0.99	0.14	1.55	-0.023	0.977	35.19	22.79	28.70	17.54	7.27	10.27	2.64	3.07	2.16
11	4.08	9.52	6.80	55.68	87.38	1.85	262.96	0.82	1.19	1.00	0.07	0.69	0.32	102	0.99	0.15	1.55	-0.024	0.976	35.07	22.72	28.60	17.49	7.23	10.26	2.61	3.08	2.17
12	4.16	9.95	7.05	49.92	87.29	2.11	301.15	0.82	1.22	1.02	0.07	0.66	0.36	103	0.99	0.15	1.55	-0.025	0.975	34.95	26.02	28.51	20.03	8.42	11.62	2.98	3.56	2.58
13	3.93	9.42	6.67	51.10	85.38	2.14	270.63	0.81	1.18	1.00	0.07	0.65	0.35	104	0.99	0.16	1.54	-0.026	0.974	34.83	23.38	28.41	18.00	7.60	10.40	2.71	3.15	2.23
14	4.09	9.75	6.92	48.37	85.15	2.30	275.32	0.82	1.21	1.01	0.07	0.64	0.37	105	0.99	0.17	1.54	-0.027	0.973	34.72	23.79	28.32	18.32	7.81	10.51	2.80	3.24	2.34
15	4.26	9.97	7.11	49.09	84.98	2.31	251.54	0.83	1.23	1.03	0.07	0.65	0.37	106	0.99	0.17	1.54	-0.028	0.972	34.60	21.73	28.22	16.73	7.14	9.59	2.64	2.98	2.17
16	4.38	10.33	7.35	47.35	86.06	2.23	293.88	0.84	1.25	1.05	0.07	0.66	0.39	107	0.99	0.18	1.54	-0.029	0.971	34.48	25.39	28.12	19.55	8.39	11.16	2.98	3.51	2.60
17	4.09	10.66	7.37	43.72	86.05	2.29	308.26	0.82	1.28	1.05	0.07	0.63	0.42	108	0.99	0.18	1.54	-0.030	0.970	34.36	26.63	28.02	20.51	8.92	11.59	3.13	3.69	2.75
18	4.52	11.03	7.78	41.39	83.76	2.37	320.23	0.84	1.32	1.08	0.07	0.63	0.45	109	0.99	0.19	1.54	-0.031	0.969	34.24	27.67	27.93	21.30	9.37	11.93	3.30	3.89	2.98
19	4.51	10.78	7.64	40.44	81.47	2.30	303.73	0.84	1.29	1.07	0.07	0.60	0.46	110	0.99	0.20	1.54	-0.032	0.967	34.12	26.24	27.83	20.21	8.98	11.23	3.17	3.67	2.81
20	4.26	10.60	7.43	42.32	82.68	2.32	289.96	0.83	1.28	1.05	0.07	0.61	0.44	111	0.99	0.20	1.54	-0.033	0.966	34.00	25.05	27.73	19.29	8.55	10.74	3.02	3.48	2.62
21	4.06	11.36	7.71	36.92	81.97	2.17	318.79	0.82	1.34	1.08	0.07	0.58	0.50	112	0.99	0.21	1.54	-0.034	0.965	33.88	27.54	27.63	21.21	9.58	11.63	3.31	3.87	2.98
22	4.13	11.02	7.57	38.53	79.69	2.12	321.73	0.82	1.31	1.07	0.07	0.58	0.49	113	0.99	0.22	1.53	-0.035	0.964	33.76	27.80	27.54	21.40	9.69	11.71	3.29	3.88	2.97
23	4.16	10.43	7.30	41.02	83.10	2.21	323.08	0.82	1.26	1.04	0.07	0.60	0.44	114	0.99	0.22	1.53	-0.036	0.962	33.64	27.91	27.44	21.49	9.65	11.84	3.22	3.86	2.89
24	4.36	11.00	7.68	43.96	81.80	2.20	296.56	0.83	1.31	1.07	0.07	0.63	0.44	115	0.99	0.23	1.53	-0.037	0.961	33.52	25.62	27.34	19.73	8.84	10.89	3.05	3.59	2.74
25	4.00	10.31	7.16	43.78	84.92	2.07	284.28	0.81	1.25	1.03	0.07	0.62	0.41	116	0.99	0.23	1.53	-0.038	0.960	33.41	24.56	27.25	18.91	8.47	10.44	2.87	3.37	2.49
26	4.31	10.12	7.21	49.95	86.79	1.94	242.00	0.83	1.24	1.03	0.07	0.67	0.36	117	0.99	0.24	1.53	-0.039	0.958	33.29	20.91	27.15	16.10	7.11	8.99	2.48	2.88	2.10
27	3.84	9.84	6.84	49.21	85.83	2.31	257.00	0.80	1.21	1.01	0.07	0.64	0.37	118	0.99	0.24	1.53	-0.040	0.957	33.17	22.20	27.05	17.10	7.61	9.49	2.60	3.01	2.16
28	4.03	10.44	7.24	45.21	85.79	2.38	289.38	0.82	1.26	1.04	0.07	0.64	0.40	119	0.98	0.25	1.53	-0.041	0.956	33.05	25.00	26.96	19.25	8.67	10.58	2.91	3.45	2.55
29	4.25	10.84	7.55	45.63	81.41	2.10	275.37	0.83	1.30	1.06	0.07	0.63	0.43	120	0.98	0.26	1.53	-0.041	0.954	32.93	23.79	26.86	18.32	8.33	9.99	2.83	3.32	2.51
30	4.08	10.44	7.26	43.60	81.78	2.09	274.07	0.82	1.26	1.04	0.07	0.61	0.43	121	0.98	0.26	1.53	-0.042	0.953	32.82	23.68	26.77	18.23	8.36	9.88	2.80	3.27	2.44

Elaboración propia.

TABLA 5. Cálculo de la Evapotranspiración de Referencia ETo Método Penman Monteith (PM), Hargreaves (H) y Turc (T), Estación Meteorológica Mina-Mataquita-Jangas, periodo: 2004-2013, mes de Mayo

DEPARTAMENTO : ANCASH ALTITUD : 3280 m.s.n.m PRESIÓN ATMOSFÉRICA P= 68.08 kpa MES : MAYO
PROVINCIA : HUARAZ
DISTRITO : JANGAS LATITUD : 9° 25' 37.50" φ= 9.43 CONSTANTE PSICROMÉTRICA Y= 0.045 kPa/°C ESTACIÓN METEOROLOGICA : MINA
CASERÍO : MATAQUITA

Días	Tmín (°C)	Tmax (°C)	Tmed (°C)	HRmín (%)	HRmáx (%)	V_2 (m/s)	Rs w/m²	e°mín kpa	e°mán kpa	es kpa	Δ (Kpa/°C)	ea kpa	es-ea kpa	J (días)	dr	δ (Rad)	ws (Rad)	senφ*senδ	cosφ*cosδ	Ra (MJ/m²día)	Rs (MJ/m²día)	Rso (MJ/m²día)	Rns (MJ/m²día)	Rnl (MJ/m²día)	Rn (MJ/m²día)	ETo (PM) (mm/día)	ETo(H) (mm/día)	ETo(T) (mm/día)
1	4.03	9.89	6.96	49.48	84.90	1.92	265.58	0.82	1.22	1.02	0.07	0.65	0.37	122	0.98	0.27	1.53	-0.043	0.952	32.70	22.95	26.67	17.67	7.98	9.69	2.61	3.13	2.26
2	3.93	10.05	6.99	45.79	86.25	2.03	286.84	0.81	1.23	1.02	0.07	0.63	0.39	123	0.98	0.27	1.52	-0.044	0.950	32.59	24.78	26.58	19.08	8.70	10.38	2.80	3.38	2.46
3	4.07	10.56	7.31	41.77	84.76	2.04	303.77	0.82	1.27	1.05	0.07	0.61	0.43	124	0.98	0.28	1.52	-0.045	0.949	32.47	26.25	26.49	20.21	9.36	10.85	2.99	3.63	2.71
4	3.95	10.12	7.04	44.64	85.33	1.88	304.37	0.81	1.24	1.02	0.07	0.62	0.40	125	0.98	0.28	1.52	-0.046	0.947	32.36	26.30	26.39	20.25	9.34	10.91	2.91	3.59	2.63
5	4.12	11.04	7.58	39.10	83.34	1.98	316.03	0.82	1.32	1.07	0.07	0.60	0.47	126	0.98	0.29	1.52	-0.046	0.946	32.25	27.31	26.30	21.02	9.90	11.13	3.12	3.81	2.91
6	3.98	11.08	7.53	34.17	80.71	2.28	297.32	0.81	1.32	1.07	0.07	0.55	0.51	127	0.98	0.29	1.52	-0.047	0.945	32.14	25.69	26.21	19.78	9.51	10.27	3.09	3.58	2.75
7	4.41	11.12	7.76	34.22	71.84	2.44	307.11	0.84	1.32	1.08	0.07	0.53	0.55	128	0.98	0.30	1.52	-0.048	0.943	32.03	26.53	26.12	20.43	9.99	10.44	3.25	3.73	2.94
8	4.59	11.68	8.13	33.39	76.21	2.09	267.46	0.85	1.37	1.11	0.07	0.55	0.56	129	0.98	0.30	1.52	-0.049	0.942	31.92	23.11	26.04	17.79	8.69	9.11	2.93	3.30	2.63
9	4.32	11.46	7.89	34.49	78.27	2.42	251.12	0.83	1.35	1.09	0.07	0.56	0.53	130	0.98	0.31	1.52	-0.049	0.940	31.81	21.70	25.95	16.71	8.13	8.57	2.84	3.07	2.42
10	4.66	10.87	7.77	38.45	72.14	2.19	230.12	0.85	1.30	1.08	0.07	0.56	0.52	131	0.98	0.31	1.52	-0.050	0.939	31.71	19.88	25.86	15.31	7.47	7.84	2.62	2.80	2.21
11	4.21	11.31	7.76	32.43	78.26	1.94	315.55	0.83	1.34	1.08	0.07	0.54	0.54	132	0.98	0.32	1.52	-0.051	0.938	31.61	27.26	25.78	20.99	10.35	10.65	3.16	3.84	2.99
12	4.11	11.79	7.95	32.04	79.94	2.01	305.18	0.82	1.38	1.10	0.07	0.55	0.55	133	0.98	0.32	1.52	-0.052	0.936	31.50	26.37	25.69	20.30	10.03	10.27	3.13	3.74	2.94
13	3.98	11.66	7.82	32.69	78.86	1.91	289.96	0.81	1.37	1.09	0.07	0.54	0.55	134	0.98	0.32	1.51	-0.052	0.935	31.40	25.05	25.61	19.29	9.56	9.73	2.98	3.53	2.77
14	4.49	11.99	8.24	29.95	78.07	2.42	315.54	0.84	1.40	1.12	0.07	0.54	0.58	135	0.98	0.33	1.51	-0.053	0.934	31.30	27.26	25.53	20.99	10.53	10.47	3.33	3.91	3.12
15	3.86	11.71	7.79	30.37	77.75	1.91	291.02	0.81	1.38	1.09	0.07	0.52	0.57	136	0.98	0.33	1.51	-0.054	0.932	31.21	25.14	25.45	19.36	9.74	9.62	3.00	3.54	2.78
16	3.98	11.19	7.58	30.37	75.26	2.18	293.04	0.81	1.33	1.07	0.07	0.51	0.56	137	0.98	0.34	1.51	-0.054	0.931	31.11	25.32	25.37	19.50	9.87	9.63	3.05	3.54	2.77
17	3.91	11.29	7.60	32.64	77.29	2.05	307.52	0.81	1.34	1.07	0.07	0.53	0.54	138	0.98	0.34	1.51	-0.055	0.930	31.02	26.57	25.30	20.46	10.29	10.17	3.09	3.71	2.88
18	4.04	11.01	7.53	31.34	75.68	1.95	302.47	0.82	1.31	1.06	0.07	0.51	0.55	139	0.98	0.34	1.51	-0.055	0.928	30.92	26.13	25.22	20.12	10.21	9.91	3.03	3.64	2.83
19	4.00	10.80	7.40	32.47	75.47	1.83	255.91	0.81	1.30	1.05	0.07	0.52	0.54	140	0.98	0.35	1.51	-0.056	0.927	30.83	22.11	25.15	17.02	8.64	8.39	2.67	3.07	2.38
20	3.84	10.86	7.35	30.73	75.08	1.83	243.57	0.80	1.30	1.05	0.07	0.50	0.55	141	0.98	0.35	1.51	-0.056	0.926	30.75	21.04	25.08	16.20	8.29	7.91	2.60	2.91	2.27
21	3.67	10.98	7.32	28.88	72.56	2.05	280.14	0.79	1.31	1.05	0.07	0.48	0.58	142	0.97	0.36	1.51	-0.057	0.925	30.66	24.20	25.01	18.64	9.66	8.98	2.92	3.35	2.61
22	4.03	11.15	7.59	30.10	77.28	2.06	285.06	0.81	1.33	1.07	0.07	0.51	0.56	143	0.97	0.36	1.51	-0.058	0.924	30.58	24.63	24.94	18.96	9.74	9.22	2.93	3.44	2.69
23	3.37	10.55	6.96	31.95	76.31	1.83	230.70	0.78	1.27	1.03	0.07	0.50	0.53	144	0.97	0.36	1.51	-0.058	0.922	30.50	19.93	24.87	15.35	7.88	7.47	2.46	2.72	2.07
24	3.63	10.72	7.17	29.22	73.75	2.00	245.01	0.79	1.29	1.04	0.07	0.48	0.56	145	0.97	0.37	1.51	-0.059	0.921	30.42	21.17	24.81	16.30	8.48	7.82	2.64	2.91	2.26
25	3.40	11.00	7.20	25.77	72.88	2.30	301.33	0.78	1.31	1.05	0.07	0.45	0.59	146	0.97	0.37	1.51	-0.059	0.920	30.34	26.03	24.75	20.05	10.58	9.46	3.11	3.58	2.78
26	3.84	10.79	7.31	26.84	72.94	2.07	242.68	0.80	1.29	1.05	0.07	0.47	0.58	147	0.97	0.37	1.51	-0.059	0.919	30.27	20.97	24.68	16.14	8.51	7.64	2.67	2.90	2.28
27	4.06	10.81	7.43	27.70	68.07	1.89	217.56	0.82	1.30	1.06	0.07	0.46	0.60	148	0.97	0.37	1.51	-0.060	0.918	30.19	18.80	24.63	14.47	7.69	6.78	2.48	2.61	2.09
28	4.23	11.16	7.70	22.43	60.27	2.53	290.07	0.83	1.33	1.08	0.07	0.40	0.68	149	0.97	0.38	1.50	-0.060	0.917	30.12	25.06	24.57	19.30	10.58	8.71	3.24	3.52	2.86
29	3.79	11.35	7.57	21.11	69.20	1.97	258.13	0.80	1.34	1.07	0.07	0.42	0.65	150	0.97	0.38	1.50	-0.061	0.916	30.06	22.30	24.51	17.17	9.34	7.84	2.82	3.11	2.51
30	3.60	10.83	7.22	27.56	71.50	1.80	262.54	0.79	1.30	1.04	0.07	0.46	0.58	151	0.97	0.38	1.50	-0.061	0.915	29.99	22.68	24.46	17.47	9.30	8.17	2.70	3.12	2.44
31	3.35	10.03	6.69	30.89	73.91	1.85	212.33	0.78	1.23	1.00	0.07	0.48	0.53	152	0.97	0.39	1.50	-0.062	0.914	29.93	18.35	24.41	14.13	7.43	6.70	2.31	2.47	1.88

Elaboración propia.

TABLA 6. Cálculo de la Evapotranspiración de Referencia ETo Método Penman Monteith (PM), Hargreaves (H) y Turc (T), Estación Meteorológica Mina-Mataquita-Jangas, periodo: 2004-2013, mes de Junio

DEPARTAMENTO : ANCASH ALTITUD : 3280 m.s.n.m PRESIÓN ATMOSFÉRICA P= 68.08 kpa MES : JUNIO
PROVINCIA : HUARAZ
DISTRITO : JANGAS LATITUD : 9° 25' 37.50" φ= 9.43 CONSTANTE PSICROMÉTRICA γ= 0.045 kPa/°C ESTACIÓN METEOROLOGICA : MINA
CASERÍO : MATAQUITA

Días	Tmín (°C)	Tmax (°C)	Tmed. (°C)	HRmín (%)	HRmáx (%)	V_2 (m/s)	Rs w/m²	e°mín kpa	e°mán kpa	es kpa	Δ (Kpa/°C)	ea kpa	es-ea kpa	J (días)	dr	δ (Rad)	ws (Rad)	senφ*senδ	cosφ*cosδ	Ra (MJ/m²día)	Rs (MJ/m²día)	Rso (MJ/m²día)	Rns (MJ/m²día)	Rnl (MJ/m²día)	Rn (MJ/m²día)	ETo (PM) (mm/día)	ETo(H) (mm/día)	ETo(T) (mm/día)
1	3.84	11.94	7.89	22.31	76.63	2.35	254.67	0.80	1.40	1.10	0.07	0.46	0.64	153	0.97	0.39	1.50	-0.062	0.913	29.87	22.00	24.36	16.94	9.14	7.81	2.91	3.11	2.51
2	4.15	11.79	7.97	21.44	71.48	2.21	291.65	0.82	1.38	1.10	0.07	0.44	0.66	154	0.97	0.39	1.50	-0.062	0.913	29.81	25.20	24.32	19.40	10.59	8.81	3.11	3.57	2.89
3	3.99	11.66	7.82	23.03	71.31	2.36	284.87	0.81	1.37	1.09	0.07	0.45	0.64	155	0.97	0.39	1.50	-0.063	0.912	29.76	24.61	24.27	18.95	10.32	8.63	3.09	3.47	2.79
4	3.64	11.12	7.38	22.91	73.11	2.36	292.50	0.79	1.32	1.06	0.07	0.44	0.62	156	0.97	0.39	1.50	-0.063	0.911	29.71	25.27	24.23	19.46	10.57	8.89	3.07	3.50	2.75
5	3.34	10.55	6.94	25.40	71.34	2.18	255.84	0.78	1.27	1.02	0.07	0.44	0.59	157	0.97	0.40	1.50	-0.063	0.910	29.66	22.10	24.19	17.02	9.22	7.81	2.74	3.01	2.33
6	3.65	11.18	7.41	23.61	62.74	2.40	238.62	0.79	1.33	1.06	0.07	0.41	0.66	158	0.97	0.40	1.50	-0.063	0.910	29.61	20.62	24.15	15.88	8.79	7.08	2.83	2.86	2.32
7	3.88	11.52	7.70	23.61	64.72	2.23	308.79	0.81	1.36	1.08	0.07	0.42	0.66	159	0.97	0.40	1.50	-0.064	0.909	29.57	26.68	24.12	20.54	11.36	9.18	3.19	3.74	3.01
8	3.61	10.81	7.21	26.15	66.18	2.20	293.47	0.79	1.30	1.04	0.07	0.43	0.61	160	0.97	0.40	1.50	-0.064	0.909	29.53	25.36	24.09	19.52	10.69	8.83	3.00	3.49	2.74
9	3.71	10.33	7.02	24.95	65.55	2.46	273.86	0.80	1.26	1.03	0.07	0.42	0.61	161	0.97	0.40	1.50	-0.064	0.908	29.49	23.66	24.06	18.22	10.02	8.20	2.95	3.23	2.53
10	3.56	11.18	7.37	21.48	63.34	2.43	338.29	0.79	1.33	1.06	0.07	0.39	0.67	162	0.97	0.40	1.50	-0.064	0.907	29.46	29.23	24.03	22.51	12.59	9.91	3.40	4.05	3.21
11	3.12	10.83	6.97	20.21	61.64	2.41	251.13	0.76	1.30	1.03	0.07	0.37	0.66	163	0.97	0.40	1.50	-0.064	0.907	29.43	21.70	24.00	16.71	9.42	7.29	2.89	2.96	2.36
12	3.31	11.00	7.15	21.25	62.64	2.27	271.24	0.77	1.31	1.04	0.07	0.38	0.66	164	0.97	0.41	1.50	-0.065	0.907	29.40	23.44	23.98	18.05	10.13	7.91	2.96	3.22	2.56
13	3.82	11.58	7.70	23.15	63.19	2.30	286.32	0.80	1.36	1.08	0.07	0.41	0.67	165	0.97	0.41	1.50	-0.065	0.906	29.38	24.74	23.96	19.05	10.65	8.40	3.08	3.47	2.81
14	3.89	11.80	7.85	19.53	59.42	2.38	303.25	0.81	1.38	1.10	0.07	0.37	0.72	166	0.97	0.41	1.50	-0.065	0.906	29.35	26.20	23.94	20.17	11.50	8.68	3.27	3.70	3.03
15	3.49	11.18	7.33	21.26	61.11	2.50	294.52	0.78	1.33	1.06	0.07	0.38	0.68	167	0.97	0.41	1.50	-0.065	0.906	29.33	25.45	23.92	19.59	11.06	8.53	3.18	3.52	2.82
16	3.59	11.64	7.61	18.75	65.52	2.71	279.20	0.79	1.37	1.08	0.07	0.39	0.69	168	0.97	0.41	1.50	-0.065	0.906	29.32	24.12	23.91	18.57	10.51	8.07	3.21	3.37	2.74
17	3.90	11.76	7.83	19.50	65.70	2.49	266.46	0.81	1.38	1.09	0.07	0.40	0.69	169	0.97	0.41	1.50	-0.065	0.905	29.30	23.02	23.90	17.73	10.01	7.72	3.07	3.25	2.66
18	3.87	11.77	7.82	19.07	63.91	2.82	320.66	0.81	1.38	1.09	0.07	0.39	0.70	170	0.97	0.41	1.50	-0.065	0.905	29.29	27.71	23.89	21.33	12.10	9.23	3.48	3.91	3.17
19	3.55	11.31	7.43	22.54	67.63	2.16	282.85	0.79	1.34	1.06	0.07	0.42	0.65	171	0.97	0.41	1.50	-0.065	0.905	29.28	24.44	23.88	18.82	10.49	8.33	2.97	3.39	2.70
20	3.37	11.42	7.40	22.14	67.68	2.16	272.68	0.78	1.35	1.06	0.07	0.41	0.65	172	0.97	0.41	1.50	-0.065	0.905	29.28	23.56	23.88	18.14	10.13	8.01	2.92	3.27	2.61
21	3.30	11.37	7.33	22.03	65.83	2.58	282.03	0.77	1.34	1.06	0.07	0.40	0.66	173	0.97	0.41	1.50	-0.065	0.905	29.28	24.37	23.88	18.76	10.51	8.25	3.11	3.37	2.68
22	3.87	10.92	7.39	23.19	71.57	2.38	267.46	0.81	1.31	1.06	0.07	0.44	0.62	174	0.97	0.41	1.50	-0.065	0.905	29.28	23.11	23.88	17.79	9.82	7.98	2.90	3.20	2.54
23	3.25	10.63	6.94	23.85	75.65	2.34	256.46	0.77	1.28	1.03	0.07	0.44	0.58	175	0.97	0.41	1.50	-0.065	0.905	29.28	22.16	23.88	17.06	9.33	7.73	2.76	3.02	2.32
24	3.25	10.62	6.93	24.12	74.22	2.55	289.95	0.77	1.28	1.03	0.07	0.44	0.58	176	0.97	0.41	1.50	-0.065	0.906	29.29	25.05	23.89	19.29	10.57	8.72	3.01	3.41	2.61
25	3.22	11.39	7.30	22.52	76.01	2.28	285.48	0.77	1.35	1.06	0.07	0.44	0.61	177	0.97	0.41	1.50	-0.065	0.906	29.30	24.67	23.90	18.99	10.44	8.55	2.98	3.41	2.66
26	3.08	11.80	7.44	19.40	72.53	2.20	252.93	0.76	1.38	1.07	0.07	0.41	0.66	178	0.97	0.41	1.50	-0.065	0.906	29.32	21.85	23.91	16.83	9.40	7.43	2.84	3.04	2.43
27	3.62	12.26	7.94	17.84	69.86	2.38	267.64	0.79	1.43	1.11	0.07	0.40	0.71	179	0.97	0.41	1.50	-0.065	0.906	29.33	23.12	23.92	17.81	10.04	7.76	3.07	3.28	2.69
28	3.74	11.18	7.46	19.97	65.99	2.37	306.51	0.80	1.33	1.06	0.07	0.40	0.67	180	0.97	0.41	1.50	-0.065	0.907	29.35	26.48	23.94	20.39	11.45	8.94	3.20	3.68	2.94
29	3.19	11.47	7.33	17.61	65.19	2.26	266.44	0.77	1.35	1.06	0.07	0.37	0.69	181	0.97	0.40	1.50	-0.064	0.907	29.37	23.02	23.96	17.73	10.05	7.68	2.97	3.18	2.57
30	3.29	11.14	7.22	19.69	65.62	2.52	292.82	0.77	1.33	1.05	0.07	0.38	0.67	182	0.97	0.40	1.50	-0.064	0.907	29.40	25.30	23.98	19.48	10.94	8.54	3.16	3.48	2.76

Elaboración propia.

TABLA 7. Cálculo de la Evapotranspiración de Referencia ETo Método Penman Monteith (PM), Hargreaves (H) y Turc (T), Estación Meteorológica Mina-Mataquita-Jangas, periodo: 2004-2013, mes de Julio

DEPARTAMENTO : ANCASH ALTITUD : 3280 m.s.n.m PRESIÓN ATMOSFÉRICA P= 68.08 kpa MES : JULIO
PROVINCIA : HUARAZ
DISTRITO : JANGAS LATITUD : 9° 25' 37.50" φ = 9.43 CONSTANTE PSICROMÉTRICA Y= 0.045 kPa/°C ESTACIÓN METEOROLOGICA : MINA
CASERÍO : MATAQUITA

Dias	Tmín (°C)	Tmax (°C)	Tmed (°C)	HRmín (%)	HRmáx (%)	V_2 (m/s)	Rs w/m²	e°mín kpa	e°mán kpa	es kpa	Δ (Kpa/°C)	ea kpa	es-ea kpa	J (días)	dr	δ (Rad)	ws (Rad)	senφ*senδ	cosφ*cosδ	Ra (MJ/m²día)	Rs (MJ/m²día)	Rso (MJ/m²día)	Rns (MJ/m²día)	Rnl (MJ/m²día)	Rn (MJ/m²día)	ETo (PM) (mm/día)	ETo(H) (mm/día)	ETo(T) (mm/día)
1	3.26	11.36	7.31	19.69	55.43	2.49	264.34	0.77	1.34	1.06	0.07	0.35	0.71	183	0.97	0.40	1.50	-0.064	0.908	29.43	22.84	24.00	17.59	10.05	7.53	3.08	3.16	2.57
2	3.62	12.19	7.90	19.54	57.02	2.57	264.43	0.79	1.42	1.11	0.07	0.36	0.74	184	0.97	0.40	1.50	-0.064	0.909	29.46	22.85	24.03	17.59	10.05	7.54	3.17	3.23	2.69
3	3.59	11.01	7.30	24.38	65.83	2.39	273.50	0.79	1.31	1.05	0.07	0.42	0.63	185	0.97	0.40	1.50	-0.064	0.909	29.49	23.63	24.05	18.20	10.04	8.16	2.97	3.26	2.59
4	3.44	11.37	7.41	22.89	62.62	2.36	279.72	0.78	1.35	1.06	0.07	0.40	0.66	186	0.97	0.40	1.50	-0.063	0.910	29.53	24.17	24.08	18.61	10.37	8.24	3.06	3.35	2.69
5	3.34	11.21	7.28	18.80	58.23	2.50	257.78	0.78	1.33	1.05	0.07	0.35	0.70	187	0.97	0.40	1.50	-0.063	0.910	29.57	22.27	24.12	17.15	9.73	7.42	3.04	3.07	2.50
6	3.08	11.47	7.27	19.98	67.26	2.46	277.19	0.76	1.35	1.06	0.07	0.39	0.67	188	0.97	0.39	1.50	-0.063	0.911	29.61	23.95	24.15	18.44	10.26	8.18	3.08	3.30	2.63
7	3.27	11.39	7.33	20.71	67.17	2.40	252.03	0.77	1.35	1.06	0.07	0.40	0.66	189	0.97	0.39	1.50	-0.063	0.912	29.66	21.78	24.19	16.77	9.29	7.48	2.92	3.01	2.42
8	3.12	10.82	6.97	21.08	67.82	2.42	245.83	0.76	1.30	1.03	0.07	0.40	0.63	190	0.97	0.39	1.50	-0.062	0.913	29.70	21.24	24.23	16.35	9.01	7.34	2.84	2.90	2.28
9	3.15	11.37	7.26	16.53	67.70	2.46	241.97	0.77	1.35	1.06	0.07	0.37	0.69	191	0.97	0.39	1.50	-0.062	0.913	29.75	20.91	24.27	16.10	9.00	7.10	2.92	2.88	2.33
10	3.56	11.94	7.75	16.85	65.06	2.35	247.57	0.79	1.40	1.09	0.07	0.37	0.72	192	0.97	0.38	1.50	-0.062	0.914	29.81	21.39	24.31	16.47	9.24	7.23	2.98	3.01	2.48
11	3.34	11.92	7.63	17.37	64.25	2.28	239.14	0.78	1.40	1.09	0.07	0.37	0.72	193	0.97	0.38	1.50	-0.061	0.915	29.86	20.66	24.36	15.91	8.91	7.00	2.91	2.89	2.39
12	3.45	12.40	7.93	18.32	65.94	2.44	283.07	0.78	1.44	1.11	0.07	0.39	0.72	194	0.97	0.38	1.50	-0.061	0.916	29.92	24.46	24.40	18.83	10.48	8.36	3.24	3.46	2.84
13	3.51	12.14	7.82	18.54	64.94	2.39	277.86	0.79	1.42	1.10	0.07	0.39	0.71	195	0.97	0.38	1.50	-0.060	0.917	29.98	24.01	24.45	18.49	10.26	8.22	3.18	3.39	2.77
14	3.59	11.77	7.68	20.54	61.61	2.58	276.42	0.79	1.38	1.09	0.07	0.39	0.70	196	0.97	0.37	1.51	-0.060	0.918	30.05	23.88	24.51	18.39	10.17	8.22	3.21	3.35	2.74
15	3.50	12.50	8.00	17.64	60.88	2.61	273.04	0.79	1.45	1.12	0.07	0.37	0.75	197	0.97	0.37	1.51	-0.059	0.919	30.11	23.59	24.56	18.16	10.16	8.01	3.30	3.35	2.79
16	3.56	12.87	8.22	19.44	63.41	2.45	305.35	0.79	1.49	1.14	0.07	0.39	0.74	198	0.97	0.37	1.51	-0.059	0.920	30.18	26.38	24.62	20.31	11.23	9.09	3.43	3.78	3.12
17	2.89	12.11	7.50	20.57	62.78	2.39	296.43	0.75	1.41	1.08	0.07	0.38	0.70	199	0.97	0.37	1.51	-0.059	0.921	30.25	25.61	24.67	19.72	10.83	8.89	3.27	3.57	2.87
18	3.13	12.40	7.76	20.41	66.03	2.53	290.30	0.76	1.44	1.10	0.07	0.40	0.70	200	0.97	0.36	1.51	-0.058	0.922	30.32	25.08	24.73	19.31	10.53	8.78	3.30	3.53	2.86
19	3.40	12.42	7.91	17.31	59.30	2.36	295.49	0.78	1.44	1.11	0.07	0.36	0.75	201	0.97	0.36	1.51	-0.058	0.924	30.40	25.53	24.79	19.66	10.93	8.73	3.35	3.61	2.99
20	2.96	11.56	7.26	20.62	59.11	2.19	270.54	0.76	1.36	1.06	0.07	0.36	0.70	202	0.97	0.36	1.51	-0.057	0.925	30.48	23.37	24.86	18.00	9.85	8.15	3.05	3.22	2.60
21	3.29	12.77	8.03	14.61	54.80	2.58	291.89	0.77	1.47	1.12	0.07	0.32	0.80	203	0.97	0.35	1.51	-0.056	0.926	30.56	25.22	24.92	19.42	10.94	8.48	3.50	3.58	3.01
22	3.02	12.35	7.68	16.00	55.56	2.40	302.31	0.76	1.43	1.10	0.07	0.33	0.77	204	0.97	0.35	1.51	-0.056	0.927	30.64	26.12	24.99	20.11	11.21	8.90	3.44	3.66	3.02
23	2.70	11.94	7.32	17.80	58.39	2.52	297.56	0.74	1.40	1.07	0.07	0.34	0.73	205	0.97	0.34	1.51	-0.055	0.928	30.72	25.71	25.06	19.80	10.87	8.92	3.39	3.55	2.87
24	2.73	12.36	7.55	17.05	62.53	2.40	297.33	0.74	1.44	1.09	0.07	0.35	0.73	206	0.97	0.34	1.51	-0.055	0.930	30.81	25.69	25.13	19.78	10.80	8.98	3.37	3.58	2.91
25	3.26	12.53	7.89	19.26	63.03	2.71	290.16	0.77	1.45	1.11	0.07	0.38	0.73	207	0.97	0.34	1.51	-0.054	0.931	30.90	25.07	25.20	19.30	10.43	8.88	3.44	3.55	2.91
26	3.19	12.37	7.78	20.53	64.87	2.58	300.29	0.77	1.44	1.10	0.07	0.40	0.71	208	0.97	0.33	1.51	-0.054	0.932	30.99	25.94	25.27	19.98	10.68	9.30	3.42	3.65	2.96
27	2.84	11.96	7.40	21.34	68.31	2.50	294.21	0.75	1.40	1.07	0.07	0.41	0.67	209	0.97	0.33	1.51	-0.053	0.934	31.08	25.42	25.35	19.57	10.34	9.24	3.30	3.53	2.80
28	3.11	12.53	7.82	20.07	64.56	2.62	293.02	0.76	1.45	1.11	0.07	0.39	0.72	210	0.97	0.32	1.51	-0.052	0.935	31.17	25.32	25.42	19.49	10.38	9.11	3.43	3.57	2.91
29	2.84	12.25	7.55	18.74	64.58	2.41	319.93	0.75	1.43	1.09	0.07	0.38	0.71	211	0.97	0.32	1.52	-0.052	0.936	31.27	27.64	25.50	21.28	11.34	9.94	3.50	3.86	3.09
30	2.89	12.44	7.66	18.88	64.21	2.45	301.20	0.75	1.44	1.10	0.07	0.38	0.72	212	0.97	0.32	1.52	-0.051	0.938	31.36	26.02	25.58	20.04	10.65	9.38	3.43	3.65	2.95
31	2.86	12.52	7.69	19.60	62.76	2.24	281.11	0.75	1.45	1.10	0.07	0.38	0.72	213	0.97	0.31	1.52	-0.050	0.939	31.46	24.29	25.66	18.70	9.92	8.78	3.25	3.41	2.78

Elaboración propia.

TABLA 8. Cálculo de la Evapotranspiración de Referencia ETo Método Penman Monteith (PM), Hargreaves (H) y Turc (T), Estación Meteorológica Mina-Mataquita-Jangas, periodo: 2004-2013, mes de Agosto

DEPARTAMENTO : ANCASH ALTITUD : 3280 m.s.n.m PRESIÓN ATMOSFÉRICA P= 68.08 kpa MES : AGOSTO
PROVINCIA : HUARAZ
DISTRITO : JANGAS LATITUD : 9° 25' 37.50" φ= 9.43 CONSTANTE PSICROMÉTRICA γ= 0.045 kPa/°C ESTACIÓN METEOROLOGICA : MINA
CASERÍO : MATAQUITA

Días	Tmín (°C)	Tmax (°C)	Tmed (°C)	HRmín (%)	HRmáx (%)	V_2 (m/s)	Rs w/m²	e°mín kpa	e°mán kpa	es kpa	Δ (Kpa/°C)	ea kpa	es-ea kpa	J (días)	dr	δ (Rad)	ws (Rad)	senφ*senδ	cosφ*cosδ	Ra (MJ/m²día)	Rs (MJ/m²día)	Rso (MJ/m²día)	Rns (MJ/m²día)	Rnl (MJ/m²día)	Rn (MJ/m²día)	ETo (PM) (mm/día)	ETo(H) (mm/día)	ETo(T) (mm/día)
1	3.83	11.78	7.81	16.66	56.68	2.18	278.51	0.80	1.38	1.09	0.07	0.34	0.75	214	0.97	0.31	1.52	-0.049	0.940	31.56	24.06	25.74	18.53	9.96	8.57	3.24	3.39	2.82
2	3.72	12.43	8.07	14.58	52.58	2.50	283.23	0.80	1.44	1.12	0.07	0.31	0.81	215	0.97	0.30	1.52	-0.049	0.942	31.66	24.47	25.82	18.84	10.27	8.57	3.49	3.48	2.95
3	3.87	11.89	7.88	17.21	55.56	2.70	280.84	0.81	1.39	1.10	0.07	0.34	0.76	216	0.97	0.30	1.52	-0.048	0.943	31.76	24.26	25.91	18.68	9.99	8.70	3.47	3.43	2.86
4	3.67	11.05	7.36	16.57	57.65	2.25	287.77	0.79	1.32	1.06	0.07	0.34	0.72	217	0.97	0.29	1.52	-0.047	0.945	31.87	24.86	25.99	19.14	10.15	9.00	3.28	3.44	2.80
5	3.28	11.44	7.36	14.67	62.34	2.52	276.80	0.77	1.35	1.06	0.07	0.34	0.72	218	0.97	0.29	1.52	-0.046	0.946	31.97	23.92	26.08	18.42	9.72	8.69	3.33	3.31	2.69
6	2.80	11.79	7.30	16.11	63.08	2.48	307.28	0.75	1.38	1.07	0.07	0.35	0.72	219	0.97	0.28	1.52	-0.046	0.947	32.08	26.55	26.16	20.44	10.72	9.73	3.50	3.67	2.93
7	3.36	11.88	7.62	18.63	62.78	2.47	312.27	0.78	1.39	1.08	0.07	0.37	0.71	220	0.97	0.28	1.52	-0.045	0.949	32.19	26.98	26.25	20.77	10.77	10.00	3.53	3.77	3.05
8	3.28	11.97	7.63	17.67	64.43	2.48	279.18	0.77	1.40	1.09	0.07	0.37	0.71	221	0.97	0.27	1.52	-0.044	0.950	32.29	24.12	26.34	18.57	9.60	8.97	3.35	3.38	2.75
9	3.00	12.01	7.50	17.97	67.67	2.45	288.00	0.76	1.40	1.08	0.07	0.38	0.70	222	0.97	0.27	1.53	-0.043	0.952	32.40	24.88	26.43	19.16	9.81	9.35	3.37	3.47	2.79
10	2.98	10.91	6.94	18.43	65.77	2.50	274.39	0.76	1.30	1.03	0.07	0.37	0.66	223	0.97	0.26	1.53	-0.042	0.953	32.51	23.71	26.52	18.25	9.30	8.96	3.22	3.23	2.54
11	3.59	12.36	7.97	17.74	62.45	2.78	289.92	0.79	1.44	1.11	0.07	0.37	0.74	224	0.98	0.26	1.53	-0.041	0.954	32.63	25.05	26.61	19.29	9.92	9.37	3.58	3.55	2.93
12	3.57	12.60	8.08	16.67	57.35	2.50	310.78	0.79	1.46	1.12	0.07	0.35	0.78	225	0.98	0.25	1.53	-0.041	0.956	32.74	26.85	26.70	20.68	10.74	9.94	3.69	3.83	3.18
13	3.77	11.89	7.83	16.50	59.00	2.77	305.15	0.80	1.39	1.10	0.07	0.35	0.75	226	0.98	0.24	1.53	-0.040	0.957	32.85	26.37	26.79	20.30	10.45	9.85	3.68	3.72	3.06
14	2.40	11.88	7.14	16.41	66.23	2.46	300.53	0.73	1.39	1.06	0.07	0.35	0.70	227	0.98	0.24	1.53	-0.039	0.958	32.96	25.97	26.88	19.99	10.14	9.85	3.48	3.56	2.82
15	3.15	12.34	7.74	15.28	68.99	2.23	292.81	0.77	1.43	1.10	0.07	0.37	0.73	228	0.98	0.23	1.53	-0.038	0.960	33.08	25.30	26.98	19.48	9.85	9.63	3.42	3.56	2.89
16	2.69	12.33	7.51	15.67	68.20	2.24	309.64	0.74	1.43	1.09	0.07	0.37	0.72	229	0.98	0.23	1.53	-0.037	0.961	33.19	26.75	27.07	20.60	10.39	10.21	3.52	3.73	2.99
17	3.43	11.84	7.63	17.11	64.93	2.14	311.99	0.78	1.39	1.08	0.07	0.37	0.71	230	0.98	0.22	1.53	-0.036	0.962	33.30	26.96	27.16	20.76	10.41	10.35	3.49	3.77	3.05
18	3.14	11.62	7.38	22.64	69.01	2.36	296.08	0.77	1.37	1.07	0.07	0.42	0.65	231	0.98	0.22	1.53	-0.035	0.964	33.42	25.58	27.26	19.70	9.61	10.09	3.37	3.55	2.80
19	3.51	11.36	7.44	21.62	75.64	2.29	306.29	0.79	1.34	1.07	0.07	0.44	0.62	232	0.98	0.21	1.54	-0.034	0.965	33.53	26.46	27.35	20.38	9.81	10.56	3.38	3.68	2.89
20	2.64	12.15	7.39	17.74	74.84	2.19	313.80	0.74	1.42	1.08	0.07	0.40	0.68	233	0.98	0.20	1.54	-0.033	0.966	33.65	27.11	27.44	20.88	10.20	10.68	3.49	3.76	2.96
21	3.25	11.90	7.58	17.28	73.54	2.28	306.08	0.77	1.39	1.08	0.07	0.40	0.68	234	0.98	0.20	1.54	-0.032	0.967	33.76	26.44	27.54	20.36	9.92	10.44	3.48	3.69	2.95
22	3.18	11.26	7.22	19.69	71.98	2.23	290.83	0.77	1.34	1.05	0.07	0.41	0.64	235	0.98	0.19	1.54	-0.031	0.969	33.88	25.13	27.63	19.35	9.33	10.01	3.31	3.46	2.72
23	3.26	12.30	7.78	17.28	73.96	2.06	314.62	0.77	1.43	1.10	0.07	0.41	0.69	236	0.98	0.18	1.54	-0.030	0.970	33.99	27.18	27.73	20.93	10.14	10.79	3.52	3.83	3.07
24	3.24	12.21	7.72	18.36	74.01	2.15	309.13	0.77	1.42	1.10	0.07	0.42	0.68	237	0.98	0.18	1.54	-0.029	0.971	34.11	26.71	27.82	20.57	9.89	10.67	3.50	3.75	3.00
25	2.99	11.84	7.41	19.05	75.19	2.42	316.30	0.76	1.39	1.07	0.07	0.42	0.66	238	0.98	0.17	1.54	-0.028	0.972	34.22	27.33	27.91	21.04	10.04	11.00	3.57	3.79	2.98
26	3.27	12.26	7.76	16.90	72.53	2.40	293.13	0.77	1.43	1.10	0.07	0.40	0.70	239	0.98	0.17	1.54	-0.027	0.973	34.34	25.33	28.01	19.50	9.39	10.12	3.51	3.56	2.88
27	3.24	11.98	7.61	16.60	70.13	2.39	285.17	0.77	1.40	1.09	0.07	0.39	0.70	240	0.98	0.16	1.54	-0.026	0.974	34.45	24.64	28.10	18.97	9.14	9.83	3.45	3.45	2.78
28	4.05	12.16	8.10	17.16	66.16	2.61	328.60	0.82	1.42	1.12	0.07	0.39	0.73	241	0.98	0.15	1.55	-0.025	0.975	34.57	28.39	28.19	21.86	10.54	11.32	3.86	4.05	3.32
29	3.72	11.72	7.72	20.67	63.87	2.61	291.86	0.80	1.38	1.09	0.07	0.40	0.69	242	0.98	0.15	1.55	-0.024	0.976	34.68	25.22	28.28	19.42	9.26	10.16	3.56	3.54	2.87
30	3.56	12.17	7.86	20.03	75.04	2.38	307.70	0.79	1.42	1.10	0.07	0.44	0.67	243	0.98	0.14	1.55	-0.023	0.977	34.79	26.59	28.38	20.47	9.58	10.89	3.57	3.76	3.01
31	3.43	11.21	7.32	24.43	73.57	2.26	306.37	0.78	1.33	1.06	0.07	0.45	0.61	244	0.98	0.13	1.55	-0.022	0.978	34.90	26.47	28.47	20.38	9.38	11.00	3.42	3.66	2.85

Elabpración propia.

TABLA 9. Cálculo de la Evapotranspiración de Referencia ETo Método Penman Monteith (PM), Hargreaves (H) y Turc (T), Estación Meteorológica Mina-Mataquita-Jangas, periodo: 2004-2013, mes de Setiembre

DEPARTAMENTO : ANCASH ALTITUD : 3280 m.s.n.m PRESIÓN ATMOSFÉRICA P= 68.08 kpa MES : SETIEMBRE
PROVINCIA : HUARAZ
DISTRITO : JANGAS LATITUD : 9° 25' 37.50" φ= 9.43 CONSTANTE PSICROMÉTRICA Y= 0.045 kPa/°C ESTACIÓN METEOROLOGICA : MINA
CASERÍO : MATAQUITA

Días	Tmín (°C)	Tmax (°C)	Tmed. (°C)	HRmín (%)	HRmáx (%)	V_2 (m/s)	Rs w/m²	e°mín kpa	e°mán kpa	es kpa	Δ (Kpa/°C)	ea kpa	es-ea kpa	J (días)	dr	δ (Rad)	ws (Rad)	senφ*senδ	cosφ*cosδ	Ra (MJ/m²día)	Rs (MJ/m²día)	Rso (MJ/m²día)	Rns (MJ/m²día)	Rnl (MJ/m²día)	Rn (MJ/m²día)	ETo (PM) (mm/día)	ETo(H) (mm/día)	ETo(T) (mm/día)
1	2.98	11.89	7.43	20.67	75.22	2.48	322.63	0.76	1.39	1.07	0.07	0.43	0.65	245	0.98	0.13	1.55	-0.021	0.979	35.01	27.88	28.56	21.46	9.96	11.50	3.66	3.87	3.04
2	3.29	12.40	7.85	18.64	70.77	2.41	321.47	0.77	1.44	1.11	0.07	0.41	0.70	246	0.98	0.12	1.55	-0.020	0.979	35.13	27.77	28.65	21.39	10.04	11.34	3.75	3.92	3.16
3	3.70	11.98	7.84	20.73	68.77	2.77	297.71	0.80	1.40	1.10	0.07	0.42	0.68	247	0.99	0.11	1.55	-0.018	0.980	35.23	25.72	28.74	19.81	9.22	10.58	3.65	3.63	2.94
4	4.09	12.19	8.14	22.00	69.90	2.47	288.14	0.82	1.42	1.12	0.07	0.44	0.68	248	0.99	0.11	1.55	-0.017	0.981	35.34	24.90	28.83	19.17	8.85	10.32	3.52	3.55	2.90
5	4.05	12.00	8.02	20.10	66.01	2.45	280.43	0.82	1.40	1.11	0.07	0.41	0.70	249	0.99	0.10	1.55	-0.016	0.982	35.45	24.23	28.91	18.66	8.69	9.97	3.49	3.44	2.83
6	4.08	11.47	7.78	19.70	65.87	2.46	271.62	0.82	1.35	1.09	0.07	0.40	0.68	250	0.99	0.09	1.56	-0.015	0.982	35.56	23.47	29.00	18.07	8.39	9.68	3.41	3.30	2.70
7	3.72	12.09	7.90	18.89	66.06	2.64	304.80	0.80	1.41	1.10	0.07	0.40	0.71	251	0.99	0.09	1.56	-0.014	0.983	35.66	26.33	29.09	20.28	9.43	10.85	3.74	3.73	3.04
8	3.70	11.60	7.65	19.88	70.00	2.44	282.58	0.80	1.37	1.08	0.07	0.41	0.67	252	0.99	0.08	1.56	-0.013	0.983	35.77	24.41	29.17	18.80	8.62	10.18	3.46	3.42	2.75
9	3.29	11.20	7.25	21.66	71.90	2.79	310.00	0.77	1.33	1.05	0.07	0.42	0.63	253	0.99	0.07	1.56	-0.012	0.984	35.87	26.78	29.26	20.62	9.34	11.28	3.65	3.69	2.89
10	3.34	11.83	7.58	19.18	66.43	2.87	318.78	0.78	1.39	1.08	0.07	0.39	0.69	254	0.99	0.06	1.56	-0.011	0.984	35.98	27.54	29.34	21.21	9.76	11.45	3.86	3.85	3.08
11	3.13	11.71	7.42	19.48	69.79	2.65	357.04	0.76	1.38	1.07	0.07	0.40	0.67	255	0.99	0.06	1.56	-0.009	0.985	36.08	30.85	29.42	23.75	10.83	12.93	4.02	4.28	3.37
12	3.33	12.28	7.81	16.17	69.88	2.67	331.18	0.78	1.43	1.10	0.07	0.39	0.72	256	0.99	0.05	1.56	-0.008	0.985	36.18	28.61	29.51	22.03	10.13	11.90	3.96	4.03	3.25
13	3.34	12.32	7.83	17.48	68.94	2.73	333.49	0.78	1.43	1.10	0.07	0.39	0.71	257	0.99	0.04	1.56	-0.007	0.986	36.28	28.81	29.59	22.19	10.15	12.03	3.99	4.06	3.28
14	3.63	12.65	8.14	19.77	70.34	2.69	314.37	0.79	1.46	1.13	0.07	0.42	0.70	258	0.99	0.04	1.56	-0.006	0.986	36.37	27.16	29.67	20.91	9.46	11.45	3.86	3.88	3.16
15	3.46	12.11	7.78	18.43	73.76	2.69	299.45	0.78	1.41	1.10	0.07	0.42	0.68	259	0.99	0.03	1.57	-0.005	0.986	36.47	25.87	29.74	19.92	8.96	10.96	3.70	3.64	2.93
16	3.83	11.09	7.46	20.66	69.14	2.63	287.16	0.80	1.32	1.06	0.07	0.41	0.65	260	0.99	0.02	1.57	-0.004	0.986	36.56	24.81	29.82	19.10	8.54	10.56	3.53	3.45	2.75
17	3.34	12.09	7.71	18.56	74.51	2.28	298.34	0.78	1.41	1.09	0.07	0.42	0.67	261	0.99	0.02	1.57	-0.003	0.986	36.66	25.78	29.90	19.85	8.87	10.98	3.58	3.62	2.90
18	3.10	11.98	7.54	19.04	75.28	2.50	290.10	0.76	1.40	1.08	0.07	0.42	0.66	262	0.99	0.01	1.57	-0.001	0.986	36.75	25.06	29.97	19.30	8.58	10.72	3.56	3.50	2.78
19	3.50	11.53	7.52	22.75	72.89	2.40	290.49	0.79	1.36	1.07	0.07	0.44	0.63	263	0.99	0.00	1.57	0.000	0.986	36.84	25.10	30.04	19.33	8.49	10.84	3.49	3.50	2.77
20	3.30	12.05	7.67	21.41	76.75	2.51	307.22	0.77	1.41	1.09	0.07	0.45	0.64	264	0.99	-0.01	1.57	0.001	0.986	36.92	26.54	30.12	20.44	8.95	11.49	3.66	3.72	2.95
21	3.33	11.58	7.46	23.13	77.07	2.56	305.11	0.78	1.36	1.07	0.07	0.46	0.61	265	1.00	-0.01	1.57	0.002	0.986	37.01	26.36	30.19	20.30	8.81	11.49	3.60	3.66	2.87
22	3.52	11.51	7.52	22.22	73.75	2.53	306.77	0.79	1.36	1.07	0.07	0.44	0.63	266	1.00	-0.02	1.57	0.003	0.986	37.10	26.51	30.26	20.41	8.90	11.51	3.64	3.69	2.92
23	4.04	12.12	8.08	24.59	73.15	2.80	284.73	0.82	1.41	1.11	0.07	0.47	0.64	267	1.00	-0.03	1.58	0.004	0.986	37.18	24.60	30.32	18.94	8.20	10.74	3.60	3.50	2.84
24	3.66	11.77	7.71	22.22	73.50	2.61	298.75	0.79	1.38	1.09	0.07	0.45	0.64	268	1.00	-0.03	1.58	0.005	0.986	37.26	25.81	30.39	19.88	8.64	11.24	3.64	3.62	2.89
25	3.68	11.56	7.62	22.16	76.29	2.49	296.04	0.80	1.36	1.08	0.07	0.45	0.62	269	1.00	-0.04	1.58	0.007	0.986	37.34	25.58	30.45	19.69	8.50	11.20	3.56	3.58	2.83
26	3.88	12.39	8.14	20.05	78.07	2.61	297.95	0.81	1.44	1.12	0.07	0.46	0.66	270	1.00	-0.05	1.58	0.008	0.985	37.42	25.74	30.52	19.82	8.58	11.24	3.70	3.67	2.97
27	3.92	12.02	7.97	21.00	70.47	2.69	290.83	0.81	1.40	1.11	0.07	0.43	0.67	271	1.00	-0.05	1.58	0.009	0.985	37.49	25.13	30.58	19.35	8.43	10.91	3.68	3.56	2.89
28	3.77	12.17	7.97	23.12	70.59	2.53	294.95	0.80	1.42	1.11	0.07	0.45	0.66	272	1.00	-0.06	1.58	0.010	0.985	37.57	25.48	30.64	19.62	8.49	11.14	3.66	3.61	2.92
29	3.87	11.84	7.86	21.66	68.56	2.82	333.44	0.81	1.39	1.10	0.07	0.43	0.67	273	1.00	-0.07	1.58	0.011	0.984	37.64	28.81	30.70	22.18	9.64	12.54	4.00	4.07	3.27
30	4.02	11.83	7.92	23.82	70.62	2.49	290.47	0.81	1.39	1.10	0.07	0.45	0.65	274	1.00	-0.08	1.58	0.012	0.984	37.71	25.10	30.76	19.32	8.30	11.03	3.59	3.55	2.87

Elaboración propia.

TABLA 10. Cálculo de la Evapotranspiración de Referencia ETo Método Penman Monteith (PM), Hargreaves (H) y Turc (T), Estación Meteorológica Mina-Mataquita-Jangas, periodo: 2004-2013, mes de Octubre

DEPARTAMENTO : ANCASH ALTITUD : 3280 m.s.n.m PRESIÓN ATMOSFÉRICA P= 68.08 kpa MES : OCTUBRE
PROVINCIA : HUARAZ
DISTRITO : JANGAS LATITUD : 9° 25' 37.50" φ= 9.43 CONSTANTE PSICROMÉTRICA Y= 0.045 kPa/°C ESTACIÓN METEOROLOGICA : MINA
CASERÍO : MATAQUITA

Días	Tmín (°C)	Tmax (°C)	Tmed. (°C)	H-Rmín (%)	H-Rmáx (%)	V_2 (m/s)	Rs w/m²	e°mín kpa	e°mán kpa	es kpa	Δ (Kpa/°C)	ea kpa	es-ea kpa	J (días)	dr	δ (Rad)	ws (Rad)	senφ*senδ	cosφ*cosδ	Ra (MJ/m²día)	Rs (MJ/m²día)	Rso (MJ/m²día)	Rns (MJ/m²día)	Rnl (MJ/m²día)	Rn (MJ/m²día)	ETo (PM) (mm/día)	ETo(H) (mm/día)	ETo(T) (mm/día)
1	3.96	12.45	8.20	23.83	73.03	2.73	312.16	0.81	1.44	1.13	0.07	0.47	0.66	275	1.00	-0.08	1.58	0.013	0.983	37.78	26.97	30.81	20.77	8.88	11.89	3.84	3.86	3.13
2	3.81	12.52	8.16	25.47	77.26	2.84	299.31	0.80	1.45	1.13	0.07	0.49	0.63	276	1.00	-0.09	1.59	0.015	0.983	37.84	25.86	30.87	19.91	8.40	11.51	3.73	3.70	2.97
3	4.01	12.50	8.26	25.43	74.86	3.07	339.64	0.81	1.45	1.13	0.07	0.49	0.64	277	1.00	-0.10	1.59	0.016	0.982	37.91	29.35	30.92	22.60	9.55	13.04	4.08	4.21	3.39
4	3.69	12.86	8.27	22.95	74.44	2.87	354.29	0.80	1.48	1.14	0.07	0.47	0.67	278	1.00	-0.10	1.59	0.017	0.981	37.97	30.61	30.97	23.57	10.05	13.52	4.21	4.39	3.55
5	3.41	12.43	7.92	25.47	78.12	2.68	312.92	0.78	1.44	1.11	0.07	0.49	0.62	279	1.00	-0.11	1.59	0.018	0.981	38.03	27.04	31.02	20.82	8.73	12.08	3.77	3.83	3.04
6	3.31	11.12	7.21	33.15	77.62	2.59	262.26	0.77	1.32	1.05	0.07	0.52	0.53	280	1.00	-0.12	1.59	0.019	0.980	38.09	22.66	31.07	17.45	7.14	10.31	3.18	3.12	2.39
7	3.36	12.30	7.83	27.71	78.57	2.56	334.88	0.78	1.43	1.10	0.07	0.50	0.60	281	1.00	-0.12	1.59	0.020	0.979	38.15	28.93	31.11	22.28	9.25	13.03	3.87	4.08	3.21
8	3.66	12.16	7.91	28.24	77.93	2.82	319.35	0.79	1.42	1.11	0.07	0.51	0.60	282	1.00	-0.13	1.59	0.021	0.978	38.20	27.59	31.16	21.25	8.79	12.45	3.80	3.90	3.09
9	3.79	12.64	8.21	26.77	77.44	2.85	298.04	0.80	1.46	1.13	0.07	0.51	0.63	283	1.01	-0.14	1.59	0.022	0.977	38.26	25.75	31.20	19.83	8.24	11.58	3.73	3.69	2.96
10	3.58	11.06	7.32	34.16	79.66	2.36	288.48	0.79	1.32	1.05	0.07	0.54	0.51	284	1.01	-0.14	1.59	0.023	0.976	38.31	24.92	31.25	19.19	7.76	11.43	3.32	3.45	2.63
11	3.57	11.63	7.60	30.72	77.30	2.90	321.32	0.79	1.37	1.08	0.07	0.52	0.56	285	1.01	-0.15	1.60	0.024	0.975	38.36	27.76	31.29	21.38	8.75	12.62	3.75	3.88	3.02
12	3.51	12.00	7.76	25.10	77.49	2.97	337.73	0.79	1.40	1.09	0.07	0.48	0.61	286	1.01	-0.16	1.60	0.025	0.974	38.41	29.18	31.32	22.47	9.34	13.13	3.99	4.10	3.23
13	3.00	11.96	7.48	26.37	78.04	2.61	337.07	0.76	1.40	1.08	0.07	0.48	0.60	287	1.01	-0.16	1.60	0.027	0.973	38.45	29.12	31.36	22.42	9.28	13.15	3.88	4.05	3.14
14	3.42	11.97	7.70	25.59	76.67	2.60	304.76	0.78	1.40	1.09	0.07	0.48	0.61	288	1.01	-0.17	1.60	0.028	0.972	38.50	26.33	31.40	20.28	8.41	11.87	3.68	3.70	2.91
15	2.50	11.80	7.15	26.42	78.02	2.43	351.07	0.73	1.38	1.06	0.07	0.47	0.59	289	1.01	-0.18	1.60	0.029	0.971	38.54	30.33	31.43	23.36	9.65	13.71	3.92	4.17	3.18
16	3.51	11.91	7.71	26.21	71.55	2.57	315.30	0.79	1.39	1.09	0.07	0.46	0.63	290	1.01	-0.18	1.60	0.030	0.970	38.58	27.24	31.47	20.98	8.74	12.24	3.78	3.82	3.03
17	3.37	10.65	7.01	34.00	75.01	2.63	261.42	0.78	1.28	1.03	0.07	0.51	0.52	291	1.01	-0.19	1.60	0.031	0.969	38.62	22.59	31.50	17.39	7.03	10.36	3.17	3.08	2.34
18	3.38	11.09	7.24	34.19	75.90	2.48	279.89	0.78	1.32	1.05	0.07	0.52	0.53	292	1.01	-0.19	1.60	0.032	0.968	38.66	24.18	31.53	18.62	7.51	11.11	3.31	3.33	2.55
19	3.30	11.52	7.41	32.32	82.50	2.31	280.98	0.77	1.36	1.07	0.07	0.54	0.53	293	1.01	-0.20	1.60	0.033	0.967	38.69	24.28	31.56	18.69	7.49	11.20	3.30	3.37	2.58
20	3.41	10.39	6.90	35.89	82.33	2.50	264.85	0.78	1.26	1.02	0.07	0.55	0.47	294	1.01	-0.21	1.61	0.034	0.966	38.73	22.88	31.59	17.62	6.98	10.64	3.08	3.11	2.31
21	3.57	11.16	7.37	34.86	84.07	2.53	319.86	0.79	1.33	1.06	0.07	0.56	0.50	295	1.01	-0.21	1.61	0.035	0.964	38.76	27.64	31.61	21.28	8.43	12.85	3.56	3.83	2.90
22	3.63	11.83	7.73	33.01	83.06	2.59	362.74	0.79	1.39	1.09	0.07	0.56	0.53	296	1.01	-0.22	1.61	0.036	0.963	38.79	31.34	31.64	24.13	9.62	14.51	3.98	4.40	3.40
23	3.66	9.76	6.71	41.51	84.24	2.51	273.99	0.79	1.21	1.00	0.07	0.59	0.42	297	1.01	-0.22	1.61	0.036	0.962	38.82	23.67	31.66	18.23	7.08	11.15	3.03	3.19	2.31
24	3.18	9.91	6.55	43.43	82.69	2.47	294.20	0.77	1.22	0.99	0.07	0.58	0.41	298	1.01	-0.23	1.61	0.037	0.960	38.85	25.42	31.68	19.57	7.58	11.99	3.17	3.41	2.44
25	3.62	10.52	7.07	41.68	83.67	2.48	299.63	0.79	1.27	1.03	0.07	0.60	0.44	299	1.01	-0.24	1.61	0.038	0.959	38.87	25.89	31.71	19.93	7.74	12.20	3.28	3.54	2.62
26	3.95	9.32	6.63	47.83	83.03	2.48	247.43	0.81	1.17	0.99	0.07	0.62	0.37	300	1.01	-0.24	1.61	0.039	0.958	38.90	21.38	31.73	16.46	6.29	10.17	2.75	2.87	2.05
27	3.77	10.69	7.23	45.75	81.66	2.68	317.14	0.80	1.29	1.04	0.07	0.62	0.42	301	1.01	-0.25	1.61	0.040	0.956	38.92	27.40	31.74	21.10	8.12	12.98	3.42	3.77	2.80
28	3.55	10.05	6.80	45.36	83.55	2.41	277.95	0.79	1.23	1.01	0.07	0.61	0.40	302	1.02	-0.25	1.61	0.041	0.955	38.94	24.02	31.76	18.49	7.10	11.39	3.04	3.25	2.35
29	4.12	9.75	6.94	41.57	79.70	2.31	259.55	0.82	1.21	1.01	0.07	0.58	0.44	303	1.02	-0.26	1.61	0.042	0.954	38.96	22.42	31.78	17.27	6.72	10.55	2.96	3.05	2.26
30	3.52	9.72	6.62	44.19	81.02	2.27	284.45	0.79	1.21	1.00	0.07	0.58	0.41	304	1.02	-0.26	1.62	0.043	0.952	38.98	24.58	31.79	18.92	7.31	11.62	3.08	3.30	2.38
31	4.10	9.62	6.86	47.15	78.45	2.55	275.37	0.82	1.20	1.01	0.07	0.60	0.40	305	1.02	-0.27	1.62	0.044	0.951	39.00	23.79	31.81	18.32	7.04	11.28	3.04	3.23	2.36

Elaboración propia.

TABLA 11. Cálculo de la Evapotranspiración de Referencia ETo Método Penman Monteith (PM), Hargreaves (H) y Turc (T), Estación Meteorológica Mina-Mataquita-Jangas, periodo: 2004-2013, mes de Noviembre

DEPARTAMENTO : ANCASH ALTITUD : 3280 m.s.n.m PRESIÓN ATMOSFÉRICA P= 68.08 kpa MES : NOVIEMBRE
PROVINCIA : HUARAZ
DISTRITO : JANGAS LATITUD : 9° 25' 37.50" φ= 9.43 CONSTANTE PSICROMÉTRICA Y= 0.0645 kPa/°C ESTACIÓN METEOROLOGICA : MINA
CASERÍO : MATAQUITA

Días	Tmín (°C)	Tmax (°C)	Tmed. (°C)	HRmín (%)	HRmáx (%)	V_2 (m/s)	Rs w/m²	e°mín kpa	e°mán kpa	es kpa	Δ (Kpa/°C)	ea kpa	es-ea kpa	J (días)	dr	δ (Rad)	ws (Rad)	senφ*senδ	cosφ*cosδ	Ra (MJ/m²día)	Rs (MJ/m²día)	Rso (MJ/m²día)	Rns (MJ/m²día)	Rnl (MJ/m²día)	Rn (MJ/m²día)	ETo (PM) (mm/día)	ETo(H) (mm/día)	ETo(T) (mm/día)
1	3.55	9.63	6.59	44.39	81.33	2.32	269.19	0.79	1.20	0.99	0.07	0.59	0.41	306	1.02	-0.27	1.62	0.044	0.950	39.02	23.26	31.82	17.91	6.90	11.01	2.96	3.12	2.24
2	3.42	9.79	6.60	37.69	78.72	2.31	316.17	0.78	1.21	1.00	0.07	0.54	0.46	307	1.02	-0.28	1.62	0.045	0.948	39.03	27.32	31.84	21.03	8.27	12.76	3.41	3.67	2.67
3	3.88	10.18	7.03	37.10	75.18	2.54	325.00	0.81	1.24	1.02	0.07	0.53	0.49	308	1.02	-0.28	1.62	0.046	0.947	39.05	28.08	31.85	21.62	8.56	13.06	3.58	3.84	2.88
4	3.64	10.81	7.22	35.84	75.34	2.17	321.75	0.79	1.30	1.04	0.07	0.53	0.51	309	1.02	-0.29	1.62	0.047	0.945	39.06	27.80	31.86	21.41	8.50	12.90	3.57	3.83	2.91
5	3.69	10.82	7.26	33.93	76.89	2.72	327.37	0.80	1.30	1.05	0.07	0.53	0.52	310	1.02	-0.29	1.62	0.048	0.944	39.07	28.29	31.87	21.78	8.67	13.11	3.69	3.90	2.97
6	3.21	10.61	6.91	35.80	77.88	2.42	322.50	0.77	1.28	1.02	0.07	0.53	0.50	311	1.02	-0.30	1.62	0.048	0.943	39.08	27.86	31.88	21.46	8.49	12.97	3.55	3.79	2.82
7	3.04	9.73	6.39	40.09	69.72	2.30	271.84	0.76	1.21	0.98	0.07	0.51	0.48	312	1.02	-0.30	1.62	0.049	0.941	39.09	23.49	31.89	18.08	7.16	10.92	3.10	3.13	2.28
8	3.49	11.40	7.44	30.71	70.00	2.66	344.39	0.78	1.35	1.07	0.07	0.48	0.58	313	1.02	-0.31	1.62	0.050	0.940	39.10	29.76	31.89	22.91	9.31	13.60	3.94	4.13	3.22
9	3.74	11.72	7.73	32.67	73.91	2.42	337.62	0.80	1.38	1.09	0.07	0.52	0.57	314	1.02	-0.31	1.62	0.051	0.938	39.11	29.17	31.90	22.46	9.02	13.44	3.85	4.10	3.21
10	3.59	11.39	7.49	36.80	74.23	2.27	288.15	0.79	1.35	1.07	0.07	0.54	0.53	315	1.02	-0.32	1.63	0.051	0.937	39.12	24.90	31.91	19.17	7.60	11.57	3.36	3.47	2.68
11	3.70	10.68	7.19	36.57	78.09	2.18	284.62	0.80	1.28	1.04	0.07	0.55	0.49	316	1.02	-0.32	1.63	0.052	0.936	39.13	24.59	31.91	18.94	7.46	11.47	3.25	3.38	2.56
12	3.69	10.78	7.24	37.68	81.41	2.29	325.61	0.80	1.29	1.04	0.07	0.57	0.48	317	1.02	-0.33	1.63	0.053	0.934	39.13	28.13	31.92	21.66	8.47	13.20	3.56	3.88	2.92
13	3.57	11.43	7.50	34.67	81.15	2.44	308.06	0.79	1.35	1.07	0.07	0.55	0.52	318	1.02	-0.33	1.63	0.053	0.933	39.14	26.62	31.92	20.49	8.08	12.41	3.52	3.71	2.84
14	3.53	11.30	7.42	39.37	81.58	2.32	338.11	0.79	1.34	1.06	0.07	0.58	0.48	319	1.02	-0.33	1.63	0.054	0.932	39.14	29.21	31.92	22.49	8.75	13.74	3.67	4.05	3.07
15	4.03	11.23	7.63	35.52	81.77	2.34	346.25	0.81	1.33	1.07	0.07	0.57	0.50	320	1.02	-0.34	1.63	0.054	0.930	39.15	29.92	31.93	23.04	9.04	13.99	3.79	4.19	3.21
16	3.79	8.77	6.28	50.09	80.23	2.17	240.46	0.80	1.13	0.97	0.07	0.60	0.36	321	1.02	-0.34	1.63	0.055	0.929	39.15	20.78	31.93	16.00	6.07	9.92	2.64	2.75	1.92
17	3.70	10.28	6.99	42.22	81.29	2.01	294.08	0.80	1.25	1.02	0.07	0.59	0.44	322	1.02	-0.35	1.63	0.056	0.928	39.15	25.41	31.93	19.56	7.55	12.01	3.20	3.47	2.56
18	3.38	10.13	6.75	44.53	81.20	1.91	256.35	0.78	1.24	1.01	0.07	0.59	0.42	323	1.02	-0.35	1.63	0.056	0.927	39.15	22.15	31.93	17.05	6.55	10.50	2.85	2.99	2.17
19	3.57	10.57	7.07	37.59	79.40	2.22	293.11	0.79	1.28	1.03	0.07	0.55	0.48	324	1.03	-0.35	1.63	0.057	0.925	39.16	25.33	31.94	19.50	7.64	11.86	3.29	3.47	2.60
20	4.08	11.44	7.76	36.81	76.48	2.79	281.01	0.82	1.35	1.08	0.07	0.56	0.52	325	1.03	-0.36	1.63	0.057	0.924	39.16	24.28	31.94	18.70	7.37	11.32	3.40	3.42	2.66
21	4.40	11.72	8.06	36.82	76.22	2.85	318.31	0.84	1.38	1.11	0.07	0.57	0.53	326	1.03	-0.36	1.63	0.058	0.923	39.16	27.50	31.94	21.18	8.35	12.82	3.72	3.91	3.08
22	3.96	11.63	7.80	37.50	75.21	2.44	297.02	0.81	1.37	1.09	0.07	0.56	0.53	327	1.03	-0.36	1.63	0.058	0.922	39.16	25.66	31.94	19.76	7.80	11.96	3.48	3.62	2.82
23	3.85	11.16	7.50	39.13	75.24	2.27	327.99	0.80	1.33	1.07	0.07	0.56	0.50	328	1.03	-0.37	1.63	0.059	0.921	39.16	28.34	31.94	21.82	8.57	13.25	3.63	3.95	3.03
24	4.13	10.60	7.37	40.20	76.03	2.03	290.39	0.82	1.28	1.05	0.07	0.57	0.48	329	1.03	-0.37	1.64	0.059	0.920	39.16	25.09	31.94	19.32	7.55	11.77	3.26	3.48	2.65
25	3.62	10.28	6.95	40.34	76.03	2.28	304.74	0.79	1.25	1.02	0.07	0.55	0.47	330	1.03	-0.37	1.64	0.060	0.919	39.16	26.33	31.94	20.27	7.93	12.34	3.36	3.59	2.67
26	3.65	9.95	6.80	47.12	76.21	2.21	240.30	0.79	1.22	1.01	0.07	0.59	0.42	331	1.03	-0.38	1.64	0.060	0.918	39.16	20.76	31.94	15.99	6.15	9.84	2.77	2.81	2.06
27	4.03	10.52	7.28	43.96	76.78	2.20	265.66	0.82	1.27	1.04	0.07	0.59	0.45	332	1.03	-0.38	1.64	0.061	0.917	39.16	22.95	31.94	17.67	6.84	10.84	3.04	3.17	2.39
28	4.16	11.12	7.64	38.77	75.80	2.14	295.42	0.82	1.32	1.07	0.07	0.57	0.50	333	1.03	-0.38	1.64	0.061	0.916	39.16	25.52	31.94	19.65	7.72	11.94	3.37	3.57	2.76
29	4.19	9.16	6.67	46.21	73.18	2.31	268.39	0.82	1.16	0.99	0.07	0.57	0.42	334	1.03	-0.38	1.64	0.061	0.915	39.16	23.19	31.94	17.86	6.91	10.95	2.99	3.12	2.28
30	3.86	10.22	7.04	44.07	75.13	2.29	267.02	0.81	1.25	1.03	0.07	0.58	0.45	335	1.03	-0.39	1.64	0.062	0.914	39.16	23.07	31.94	17.76	6.89	10.87	3.05	3.15	2.35

Elaboración propia.

TABLA 12. Cálculo de la Evapotranspiración de Referencia ETo Método Penman Monteith (PM), Hargreaves (H) y Turc (T), Estación Meteorológica Mina-Mataquita-Jangas, periodo: 2004-2013, mes de Diciembre

DEPARTAMENTO	: ANCASH	ALTITUD	: 3280 m.s.n.m		PRESIÓN ATMOSFÉRICA	P= 68.08 kpa		MES	: DICIEMBRE
PROVINCIA	: HUARAZ								
DISTRITO	: JANGAS	LATITUD	: 9° 25' 37.50"	φ= 9.43	CONSTANTE PSICROMÉTRICA	γ= 0.045 kPa/°C		ESTACIÓN METEOROLOGICA	: MINA
CASERÍO	: MATAQUITA								

Días	Tmín (°C)	Tmax (°C)	Tmed. (°C)	HRmín (%)	HRmáx (%)	V_2 (m/s)	Rs w/m²	e°mín kpa	e°mán kpa	es kpa	Δ (Kpa/°C)	ea kpa	es-ea kpa	J (días)	dr	δ (Rad)	ws (Rad)	senφ*senδ	cosφ*cosδ	Ra (MJ/m²día)	Rs (MJ/m²día)	Rso (MJ/m²día)	Rns (MJ/m²día)	Rnl (MJ/m²día)	Rn (MJ/m²día)	ETo (PM) (mm/día)	ETo(H) (mm/día)	ETo(T) (mm/día)
1	3.86	10.87	7.37	36.64	72.17	2.12	248.70	0.81	1.30	1.05	0.07	0.53	0.52	336	1.03	-0.39	1.64	0.062	0.913	39.16	21.49	31.94	16.55	6.57	9.97	3.02	2.98	2.31
2	3.69	11.40	7.54	37.76	75.38	2.04	299.90	0.80	1.35	1.07	0.07	0.55	0.52	337	1.03	-0.39	1.64	0.062	0.912	39.16	25.91	31.94	19.95	7.87	12.08	3.41	3.61	2.79
3	4.31	10.81	7.56	44.49	75.01	2.35	223.67	0.83	1.30	1.06	0.07	0.60	0.46	338	1.03	-0.39	1.64	0.063	0.911	39.16	19.33	31.94	14.88	5.76	9.12	2.77	2.70	2.07
4	4.11	11.04	7.57	42.32	80.05	2.15	293.96	0.82	1.32	1.07	0.07	0.61	0.46	339	1.03	-0.39	1.64	0.063	0.911	39.16	25.40	31.94	19.56	7.56	12.00	3.29	3.55	2.70
5	3.25	10.97	7.11	40.89	77.76	2.16	269.32	0.77	1.31	1.04	0.07	0.57	0.47	340	1.03	-0.40	1.64	0.063	0.910	39.16	23.27	31.94	17.92	6.99	10.93	3.10	3.19	2.39
6	3.79	10.41	7.10	40.84	79.00	2.08	278.14	0.80	1.26	1.03	0.07	0.57	0.46	341	1.03	-0.40	1.64	0.063	0.909	39.16	24.03	31.94	18.50	7.19	11.31	3.12	3.29	2.46
7	3.33	9.75	6.54	37.93	78.78	2.24	300.09	0.78	1.21	0.99	0.07	0.53	0.46	342	1.03	-0.40	1.64	0.064	0.909	39.16	25.93	31.94	19.96	7.82	12.14	3.28	3.47	2.52
8	3.19	10.13	6.66	40.79	79.99	2.24	257.45	0.77	1.24	1.00	0.07	0.56	0.44	343	1.03	-0.40	1.64	0.064	0.908	39.16	22.24	31.94	17.13	6.65	10.47	2.94	2.99	2.18
9	3.55	10.66	7.10	44.08	79.80	2.06	288.14	0.79	1.28	1.04	0.07	0.60	0.44	344	1.03	-0.40	1.64	0.064	0.908	39.16	24.90	31.94	19.17	7.39	11.78	3.17	3.41	2.53
10	4.08	11.46	7.77	42.02	73.27	1.92	239.99	0.82	1.35	1.09	0.07	0.58	0.50	345	1.03	-0.40	1.64	0.064	0.907	39.16	20.73	31.94	15.97	6.24	9.72	2.90	2.92	2.28
11	4.47	10.91	7.69	44.61	80.82	1.85	228.54	0.84	1.30	1.07	0.07	0.63	0.44	346	1.03	-0.40	1.64	0.064	0.907	39.16	19.75	31.94	15.20	5.83	9.37	2.70	2.77	2.12
12	4.14	10.89	7.52	47.97	84.44	1.89	235.83	0.82	1.30	1.06	0.07	0.66	0.40	347	1.03	-0.41	1.64	0.065	0.906	39.17	20.38	31.94	15.69	5.94	9.75	2.70	2.84	2.12
13	4.15	10.74	7.44	44.92	85.34	2.38	279.68	0.82	1.29	1.06	0.07	0.64	0.42	348	1.03	-0.41	1.64	0.065	0.906	39.17	24.16	31.95	18.61	7.08	11.52	3.12	3.36	2.51
14	4.12	9.40	6.76	50.56	82.91	2.08	232.55	0.82	1.18	1.00	0.07	0.64	0.36	349	1.03	-0.41	1.64	0.065	0.906	39.17	20.09	31.95	15.47	5.83	9.64	2.59	2.72	1.94
15	3.75	10.49	7.12	44.68	85.11	2.11	296.50	0.80	1.27	1.03	0.07	0.62	0.41	350	1.03	-0.41	1.64	0.065	0.906	39.17	25.62	31.95	19.73	7.52	12.20	3.20	3.51	2.58
16	3.11	9.28	6.20	44.76	86.33	2.04	283.41	0.76	1.17	0.97	0.07	0.59	0.38	351	1.03	-0.41	1.64	0.065	0.905	39.17	24.49	31.95	18.85	7.18	11.67	2.98	3.23	2.24
17	3.33	9.37	6.35	48.11	80.90	1.85	205.75	0.78	1.18	0.98	0.07	0.60	0.38	352	1.03	-0.41	1.64	0.065	0.905	39.18	17.78	31.95	13.69	5.21	8.47	2.37	2.36	1.66
18	3.05	11.03	7.04	43.31	78.48	2.28	263.96	0.76	1.32	1.04	0.07	0.58	0.45	353	1.03	-0.41	1.64	0.065	0.905	39.18	22.81	31.96	17.56	6.80	10.77	3.04	3.12	2.32
19	3.55	10.19	6.87	45.89	84.39	1.95	255.67	0.79	1.24	1.02	0.07	0.62	0.40	354	1.03	-0.41	1.64	0.065	0.905	39.18	22.09	31.96	17.01	6.47	10.53	2.83	3.00	2.17
20	3.33	9.88	6.61	54.45	85.53	2.12	229.28	0.78	1.22	1.00	0.07	0.66	0.33	355	1.03	-0.41	1.64	0.065	0.905	39.19	19.81	31.96	15.25	5.68	9.57	2.52	2.66	1.86
21	3.17	9.34	6.25	55.17	84.84	2.39	222.19	0.77	1.17	0.97	0.07	0.65	0.32	356	1.03	-0.41	1.64	0.065	0.905	39.19	19.20	31.97	14.78	5.51	9.27	2.44	2.54	1.73
22	3.72	10.52	7.12	51.82	85.04	2.11	239.47	0.80	1.27	1.03	0.07	0.67	0.37	357	1.03	-0.41	1.64	0.065	0.905	39.20	20.69	31.97	15.93	5.97	9.96	2.68	2.84	2.06
23	3.79	10.01	6.90	56.04	82.67	2.27	224.01	0.80	1.23	1.02	0.07	0.68	0.34	358	1.03	-0.41	1.64	0.065	0.905	39.20	19.35	31.97	14.90	5.55	9.35	2.51	2.63	1.88
24	3.68	9.92	6.80	50.48	80.27	2.21	246.38	0.80	1.22	1.01	0.07	0.63	0.38	359	1.03	-0.41	1.64	0.065	0.906	39.21	21.29	31.98	16.39	6.21	10.19	2.75	2.88	2.08
25	3.55	8.14	5.85	57.71	79.34	2.00	220.11	0.79	1.08	0.94	0.06	0.63	0.31	360	1.03	-0.41	1.64	0.065	0.906	39.21	19.02	31.98	14.64	5.47	9.17	2.36	2.48	1.64
26	3.62	9.31	6.47	47.81	78.15	2.20	268.68	0.79	1.17	0.98	0.07	0.59	0.39	361	1.03	-0.41	1.64	0.065	0.906	39.22	23.21	31.99	17.87	6.83	11.04	2.92	3.10	2.21
27	3.35	10.19	6.77	48.10	82.31	1.99	267.56	0.78	1.24	1.01	0.07	0.62	0.39	362	1.03	-0.41	1.64	0.065	0.906	39.22	23.12	31.99	17.80	6.76	11.04	2.92	3.13	2.25
28	3.69	10.05	6.87	50.64	79.74	2.08	275.51	0.80	1.23	1.01	0.07	0.63	0.38	363	1.03	-0.40	1.64	0.064	0.907	39.23	23.80	32.00	18.33	6.94	11.39	2.98	3.23	2.34
29	3.93	10.03	6.98	47.17	79.93	2.23	293.13	0.81	1.23	1.02	0.07	0.61	0.41	364	1.03	-0.40	1.64	0.064	0.907	39.24	25.33	32.00	19.50	7.44	12.06	3.17	3.45	2.53
30	3.44	9.62	6.53	47.21	83.63	1.92	299.82	0.78	1.20	0.99	0.07	0.61	0.38	365	1.03	-0.40	1.64	0.064	0.908	39.24	25.90	32.01	19.95	7.57	12.38	3.13	3.47	2.46
31	3.46	10.44	6.95	45.26	84.77	2.02	277.83	0.78	1.26	1.02	0.07	0.62	0.41	366	1.03	-0.40	1.64	0.064	0.908	39.25	24.00	32.01	18.48	7.03	11.45	3.03	3.27	2.38

Elabpración propia.

FIGURA 1. Modelo lineal y Coeficiente de determinación entre el método de Penman Monteith y Hargreaves del mes de Enero

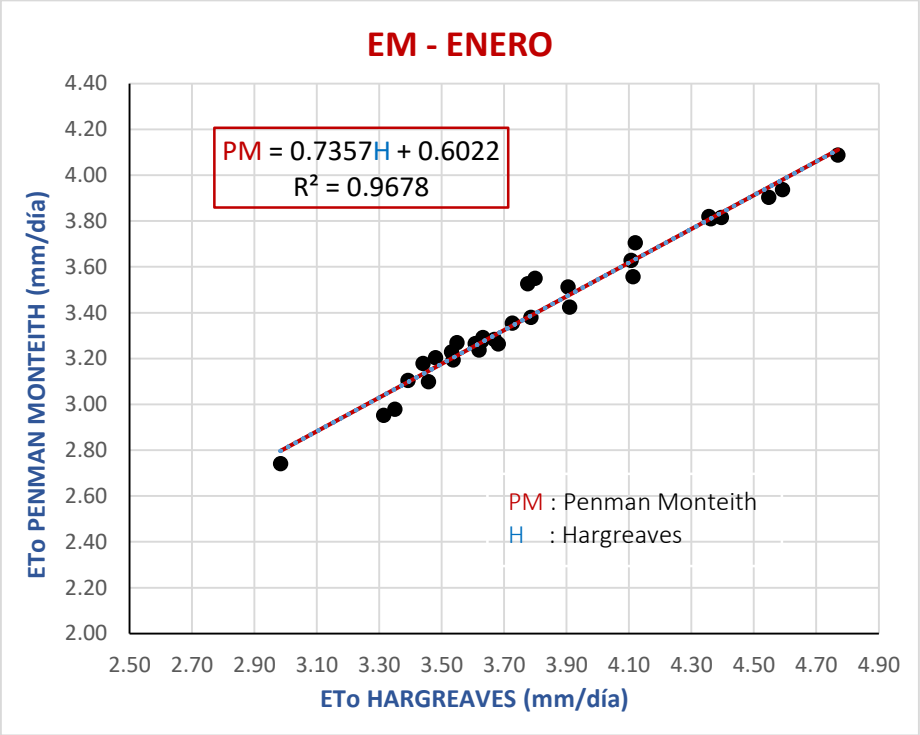


FIGURA 2. Modelo lineal y Coeficiente de determinación entre el método de Penman Monteith y Hargreaves del mes de Febrero

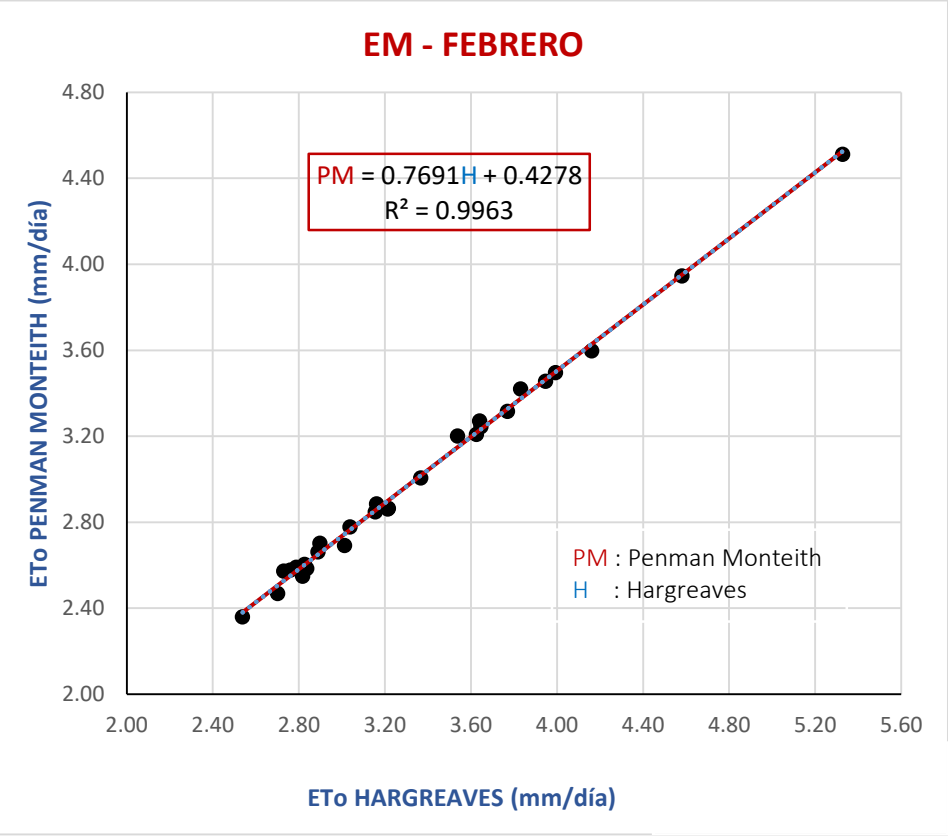


FIGURA 3. Modelo lineal y Coeficiente de determinación entre el método de Penman Monteith y Hargreaves del mes de Marzo

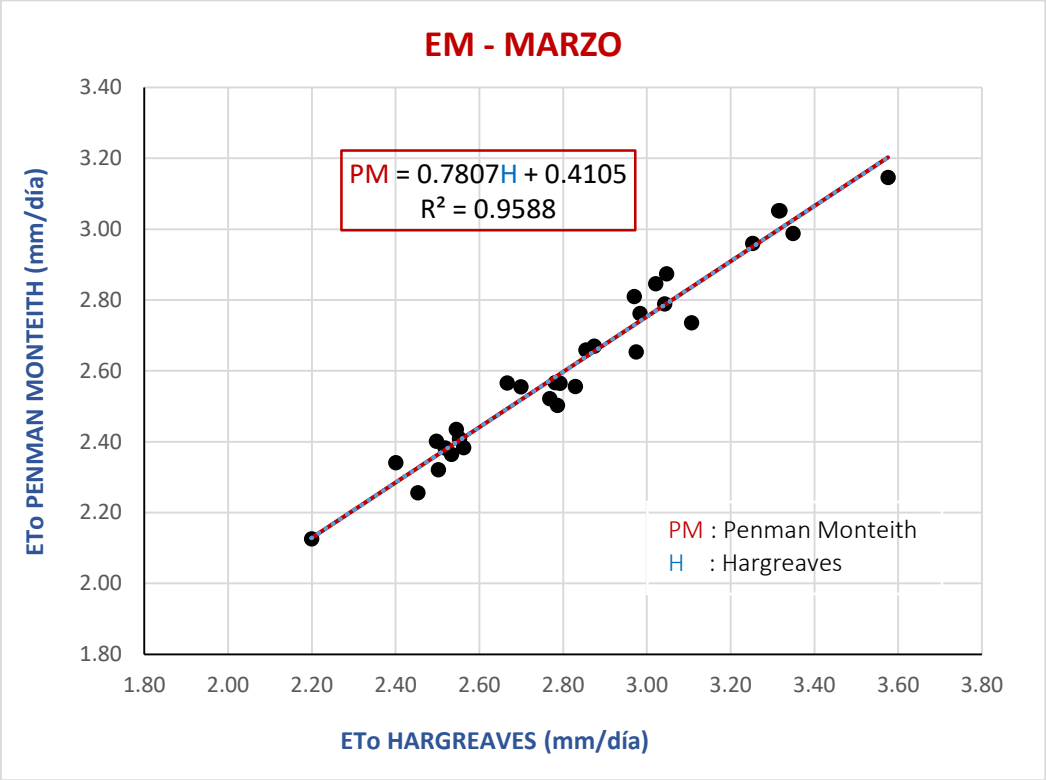


FIGURA 4. Modelo lineal y Coeficiente de determinación entre el método de Penman Monteith y Hargreaves del mes de Abril

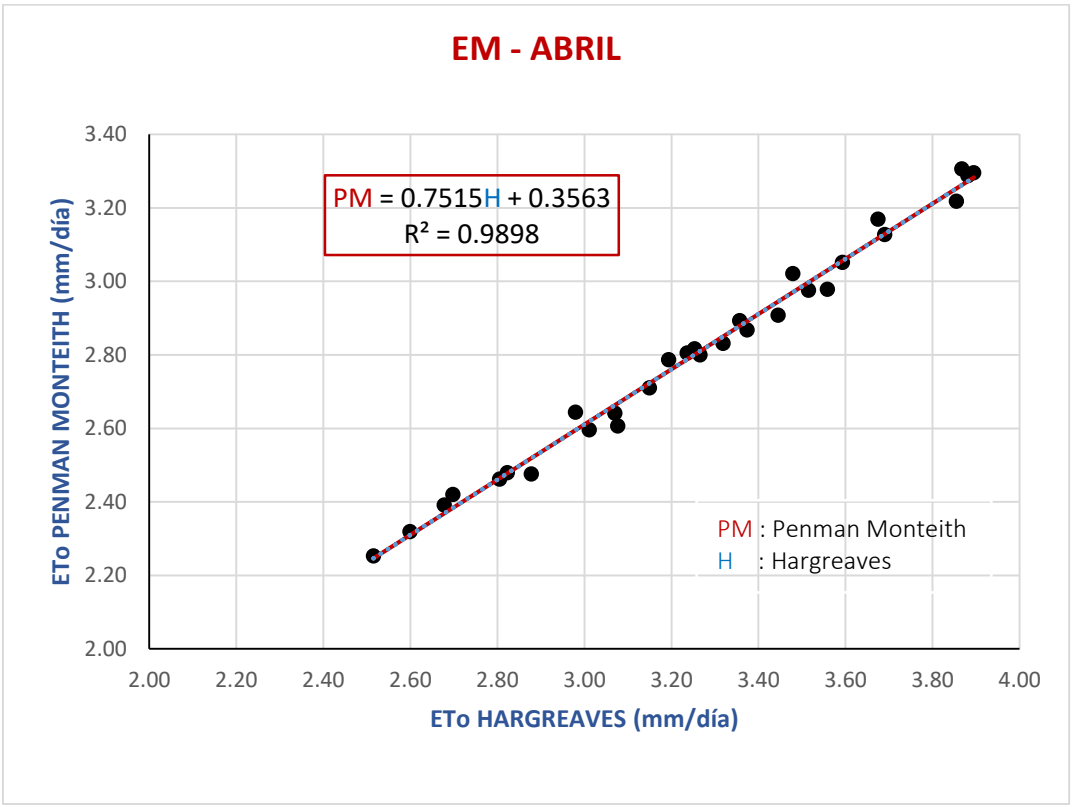


FIGURA 5. Modelo lineal y Coeficiente de determinación entre el método de Penman Monteith y Hargreaves del mes de Mayo

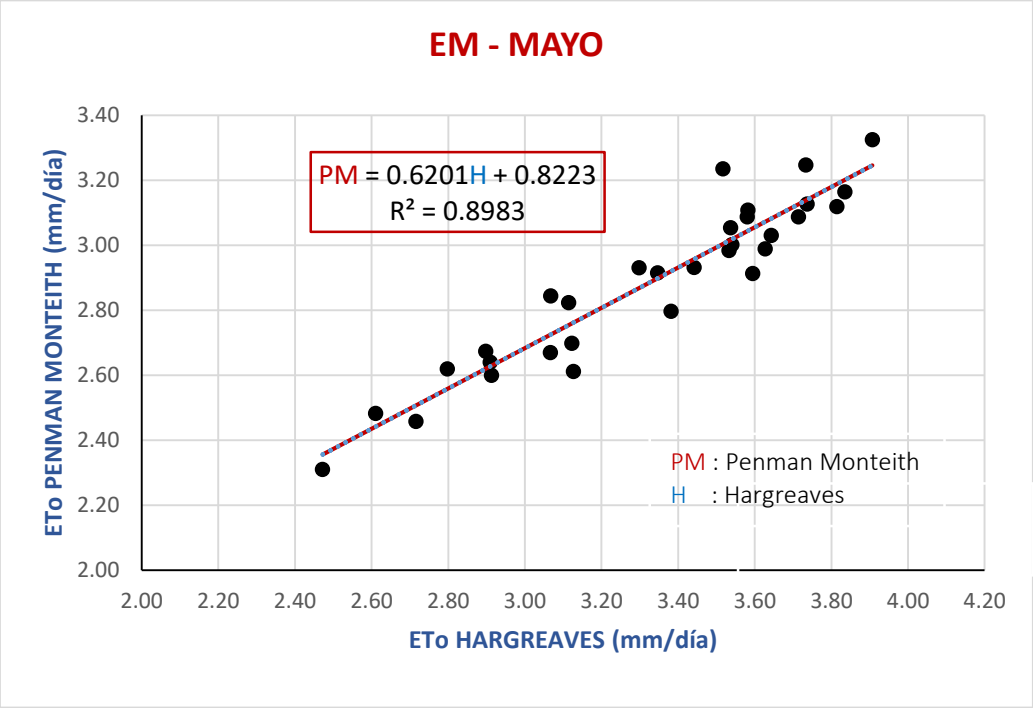


FIGURA 6. Modelo lineal y Coeficiente de determinación entre el método de Penman Monteith y Hargreaves del mes de Junio

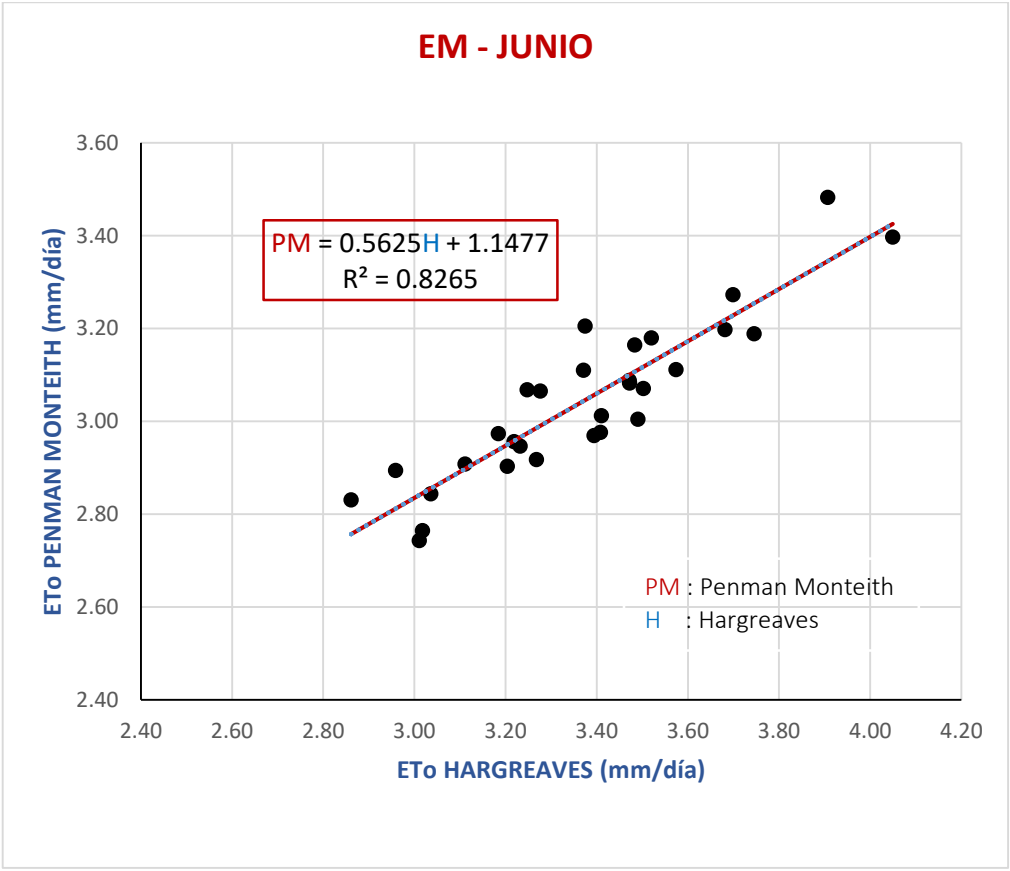


FIGURA 7. Modelo lineal y Coeficiente de determinación entre el método de Penman Monteith y Hargreaves del mes de Julio

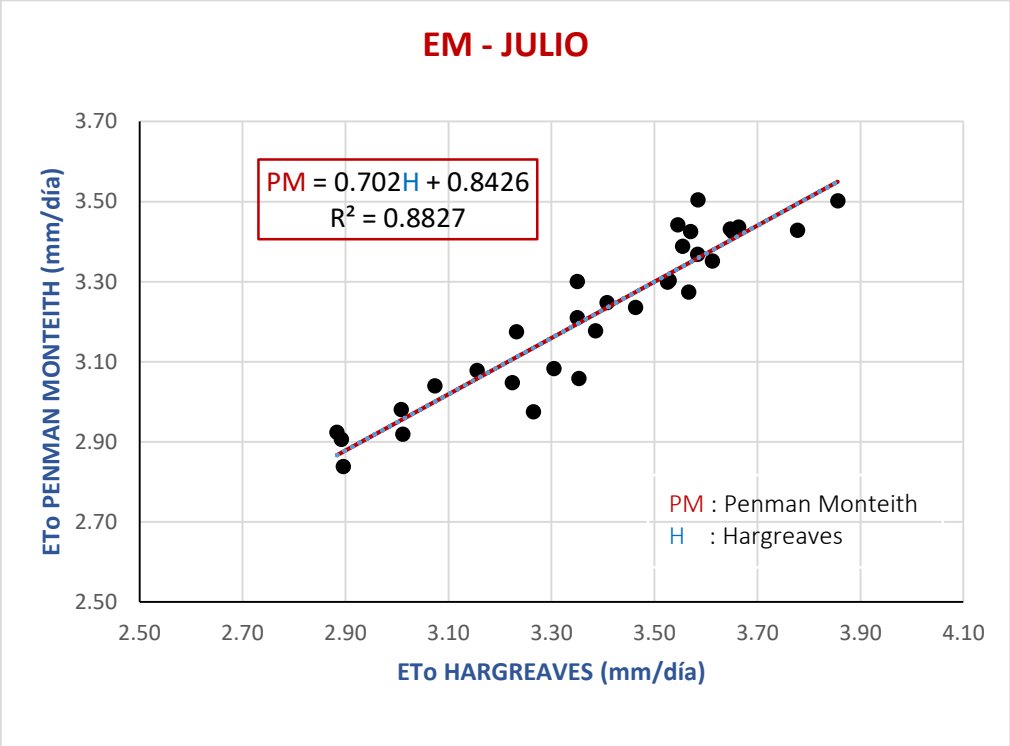


FIGURA 8. Modelo lineal y Coeficiente de determinación entre el método de Penman Monteith y Hargreaves del mes de Agosto

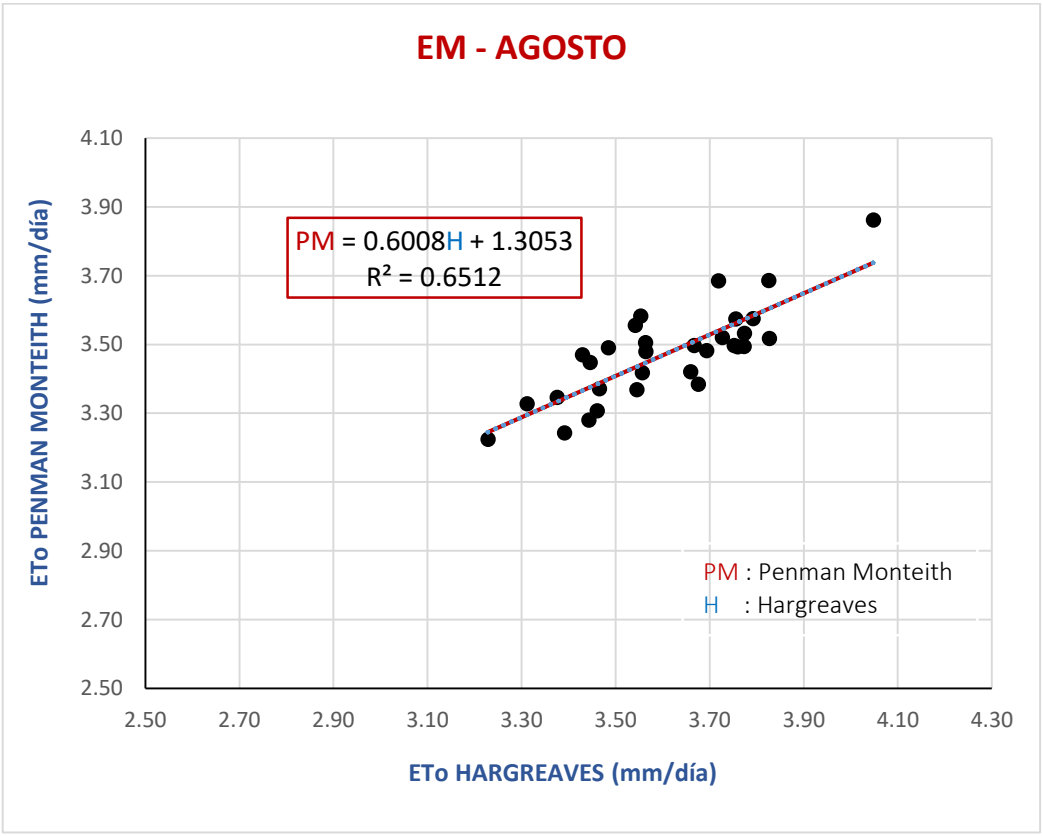


FIGURA 9. Modelo lineal y Coeficiente de determinación entre el método de Penman Monteith y Hargreaves del mes de Setiembre

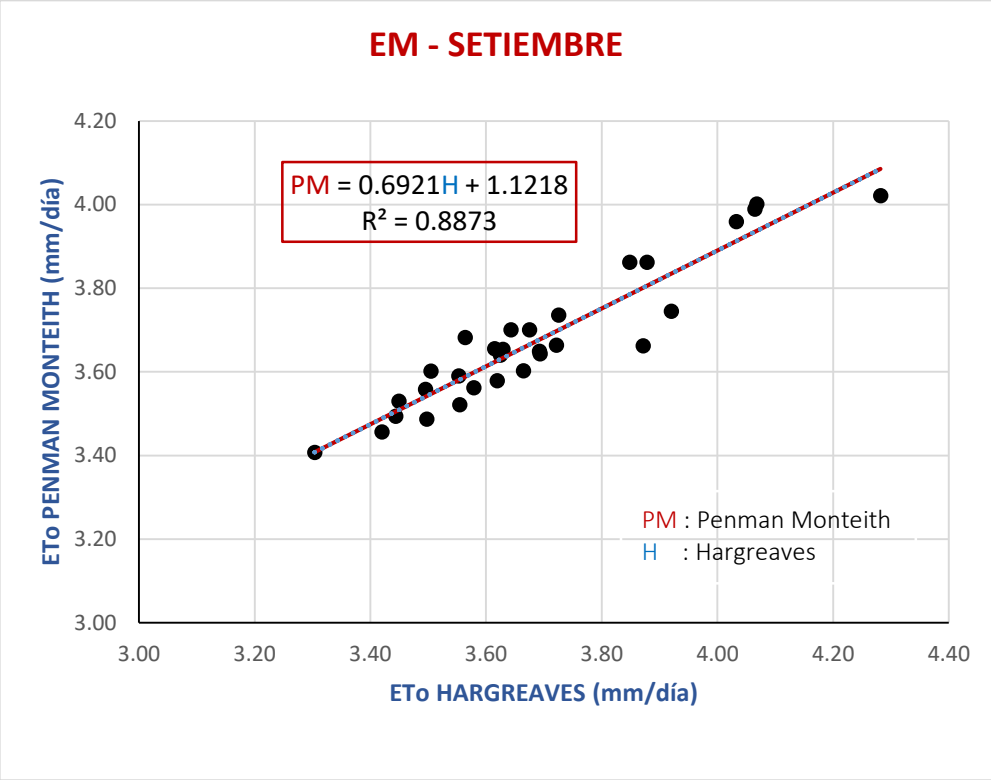


FIGURA 10. Modelo lineal y Coeficiente de determinación entre el método de Penman Monteith y Hargreaves del mes de Octubre

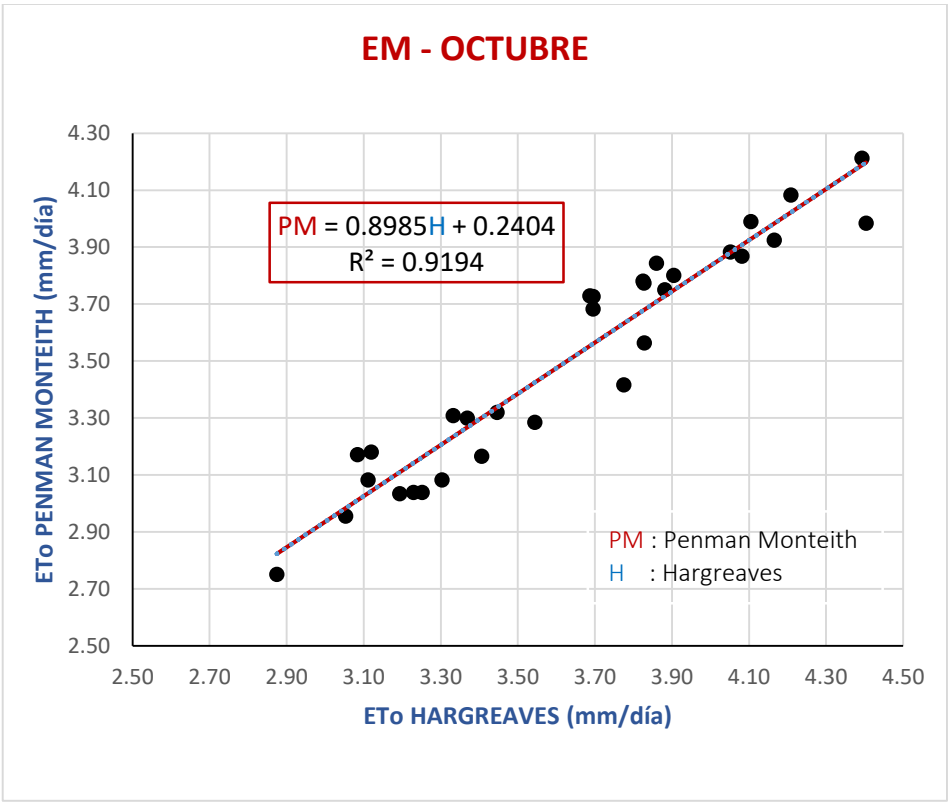


FIGURA 11. Modelo lineal y Coeficiente de determinación entre el método de Penman Monteith y Hargreaves del mes de Noviembre

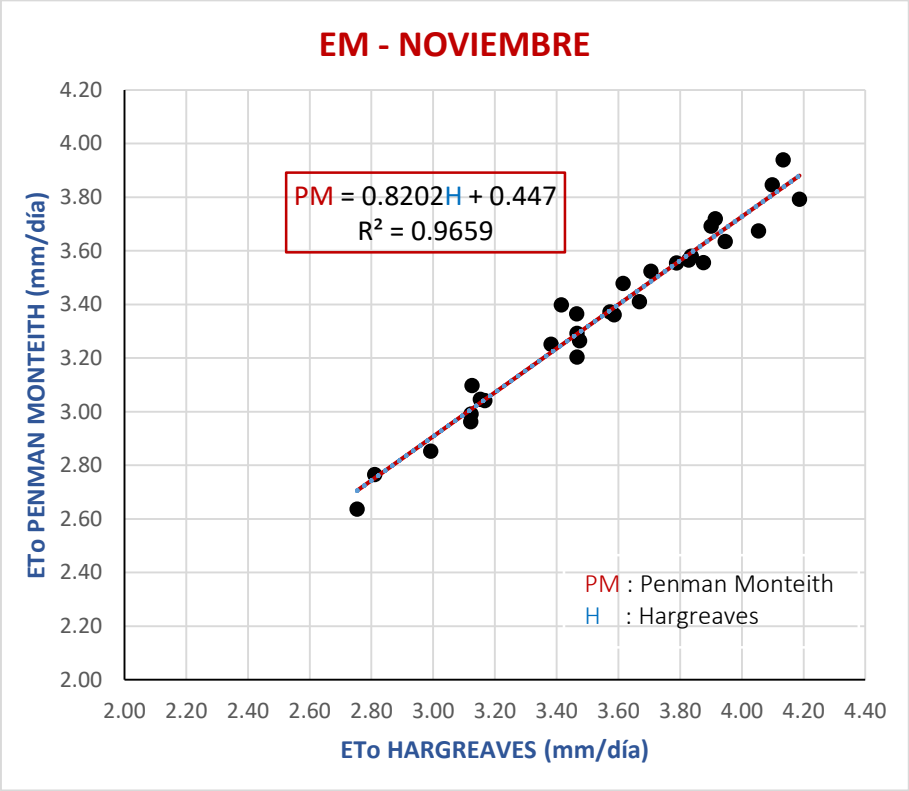


FIGURA 12. Modelo lineal y Coeficiente de determinación entre el método de Penman Monteith y Hargreaves del mes de Diciembre

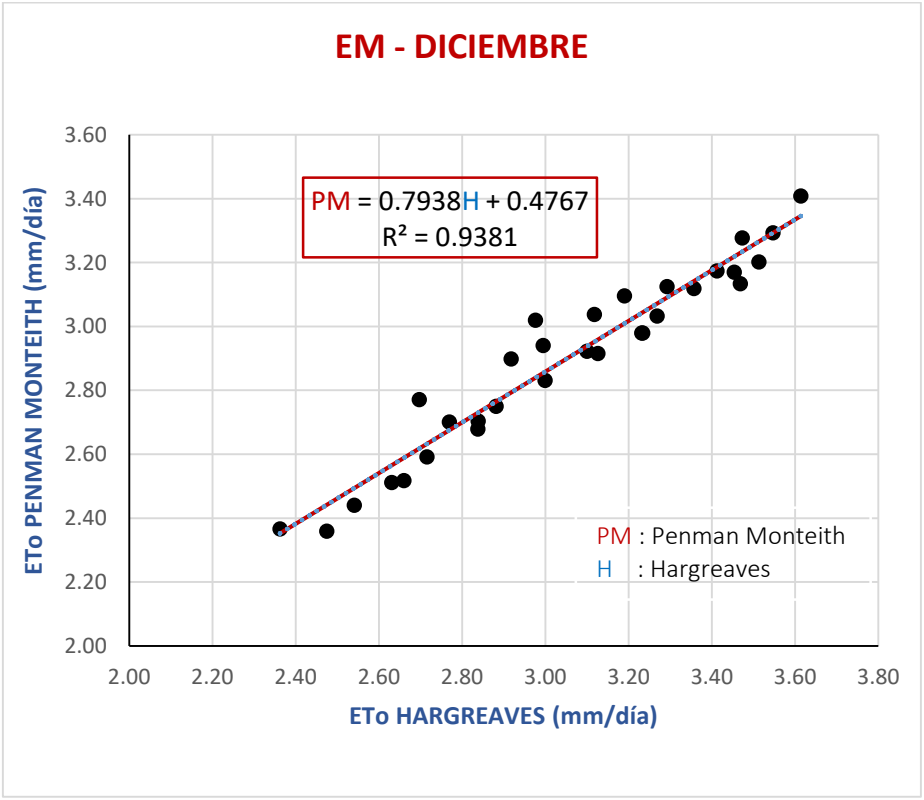


FIGURA 13. Modelo lineal y Coeficiente de determinación entre el método de Penman Monteith y Turc del mes de Enero

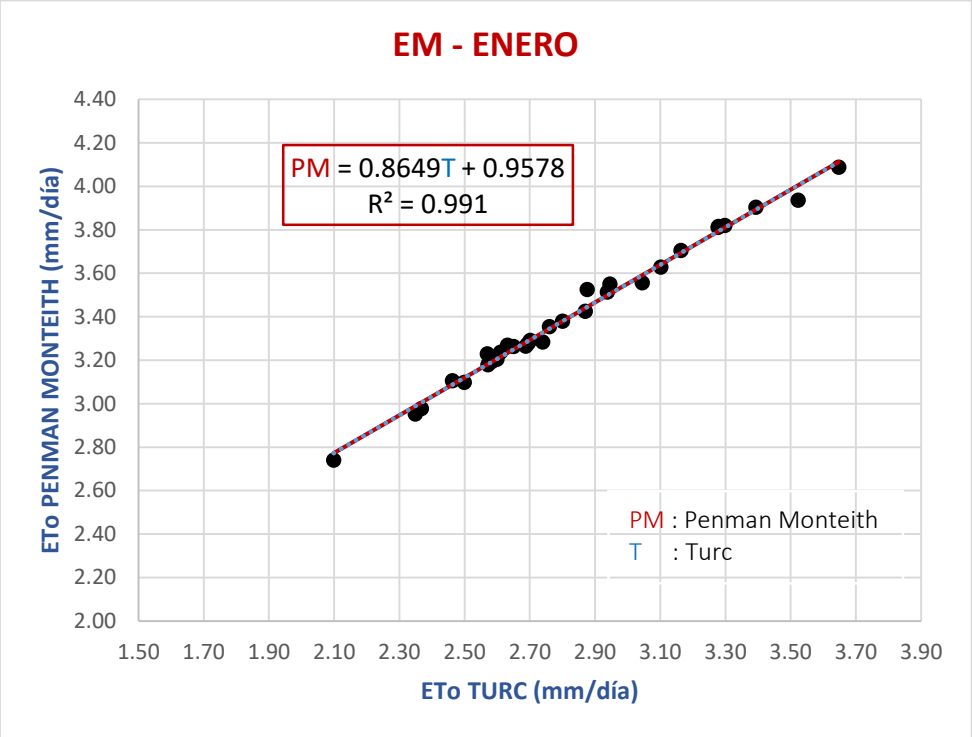


FIGURA 14. Modelo lineal y Coeficiente de determinación entre el método de Penman Monteith y Turc del mes de Febrero

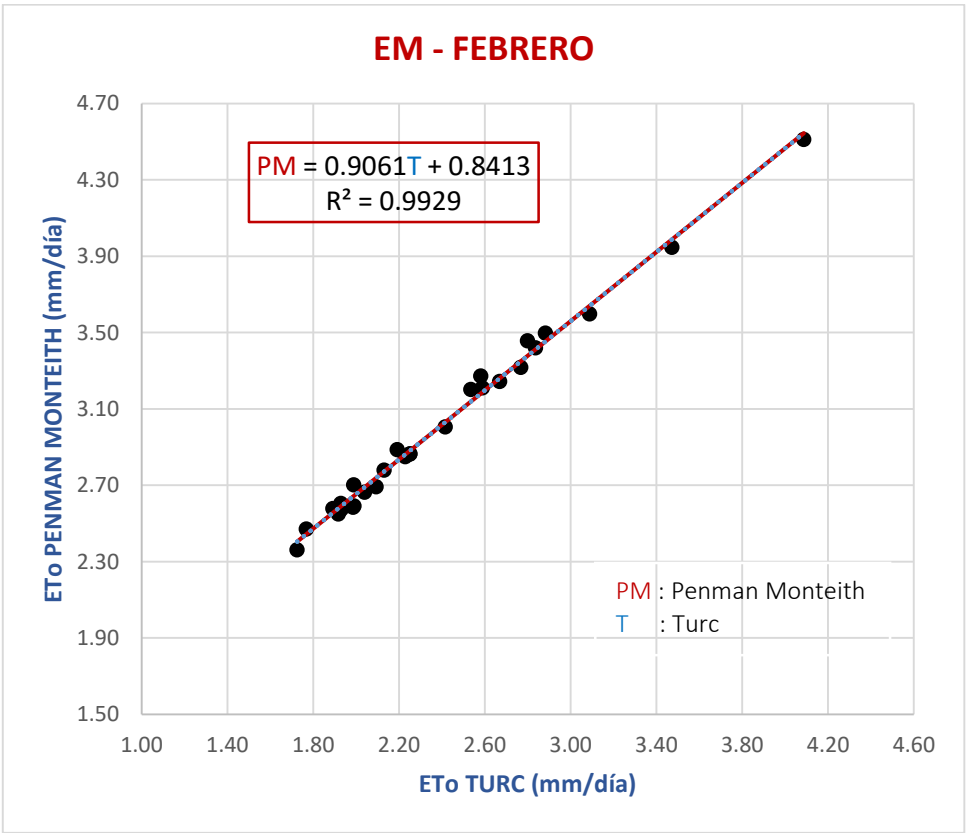


FIGURA 15. Modelo lineal y Coeficiente de determinación entre el método de Penman Monteith y Turc del mes de Marzo

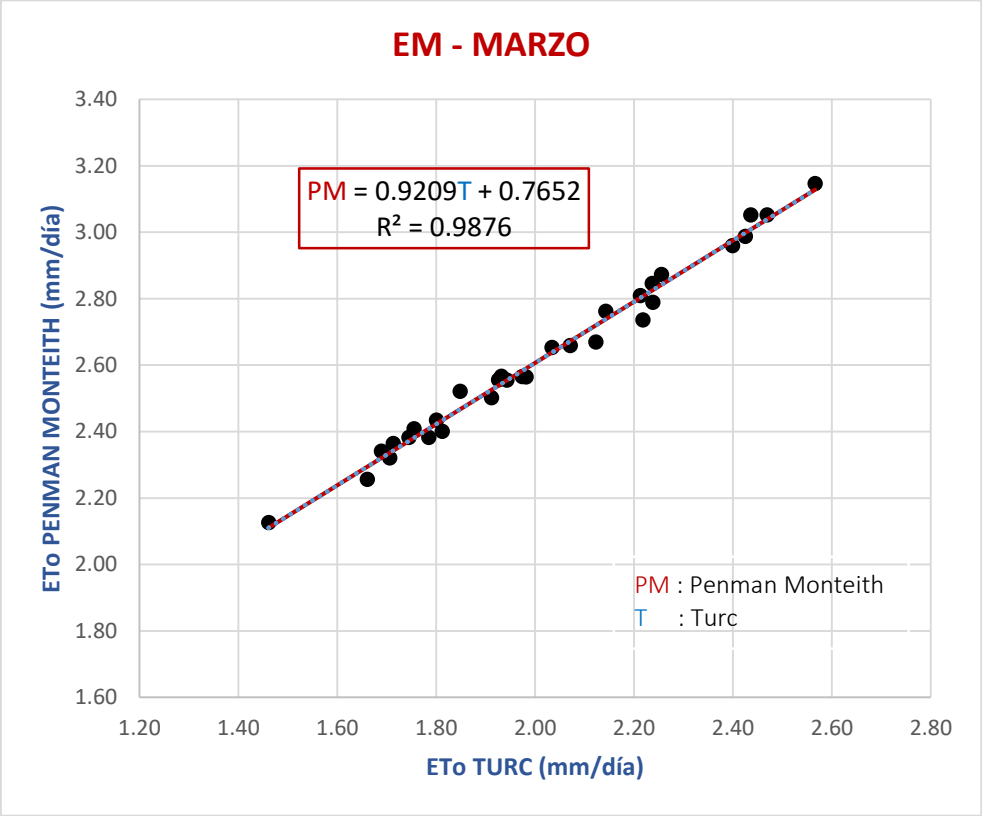


FIGURA 16. Modelo lineal y Coeficiente de determinación entre el método de Penman Monteith y Turc del mes de Abril

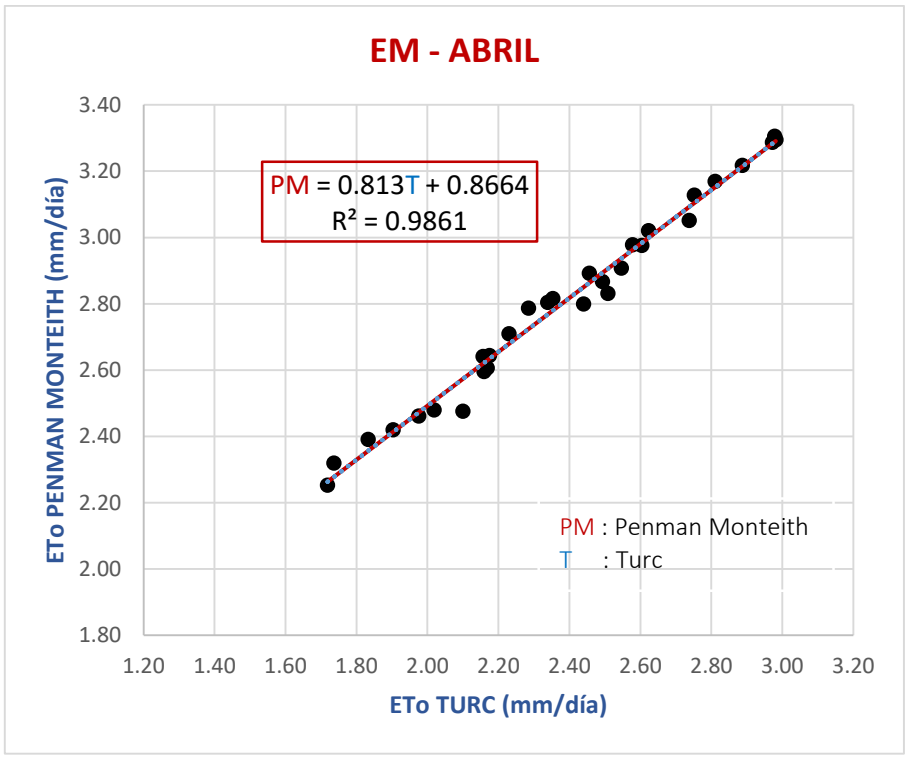


FIGURA 17. Modelo lineal y Coeficiente de determinación entre el método de Penman Monteith y Turc del mes de Mayo

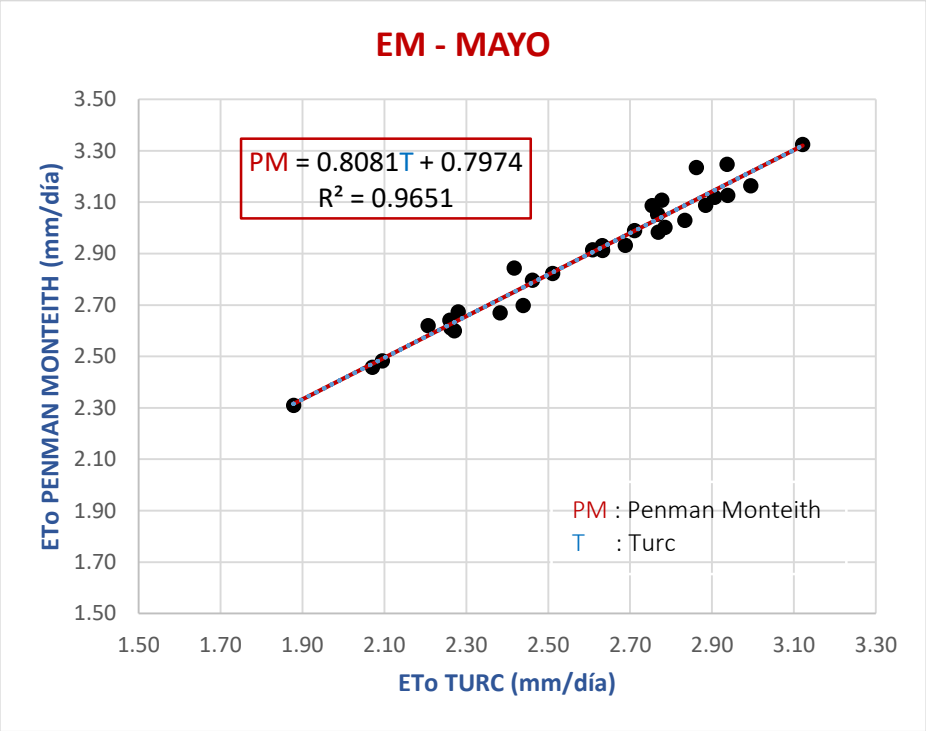


FIGURA 18. Modelo lineal y Coeficiente de determinación entre el método de Penman Monteith y Turc del mes de Junio.

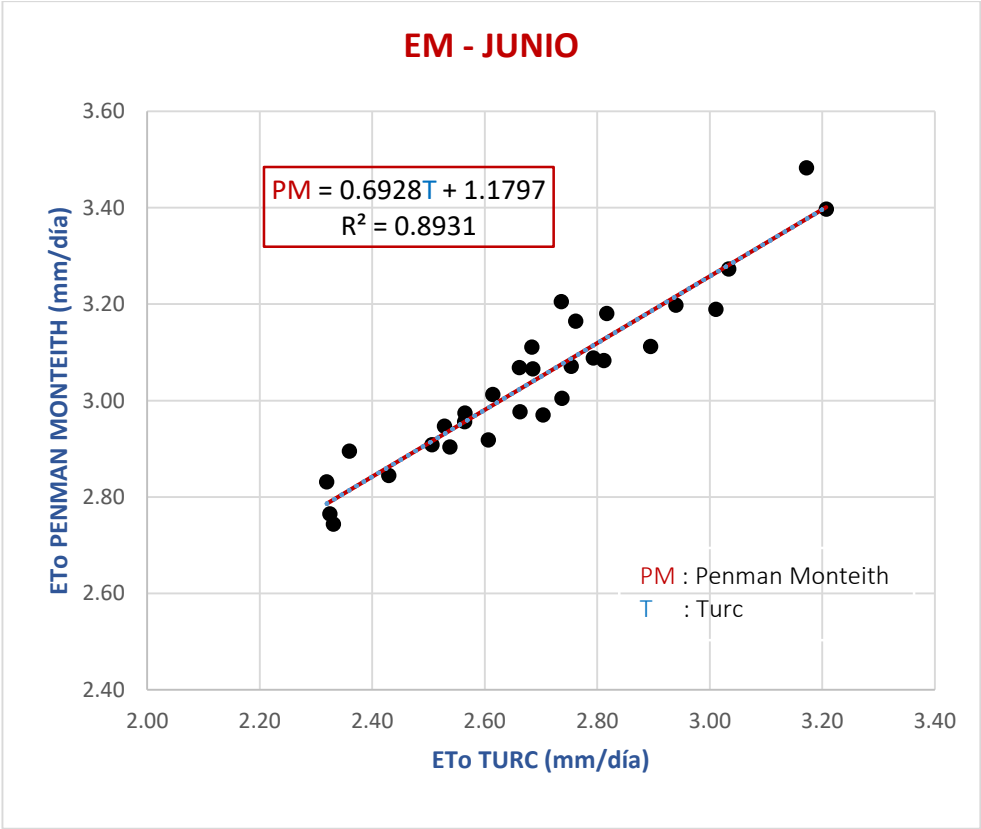


FIGURA 19. Modelo lineal y Coeficiente de determinación entre el método de Penman Monteith y Turc del mes de Julio

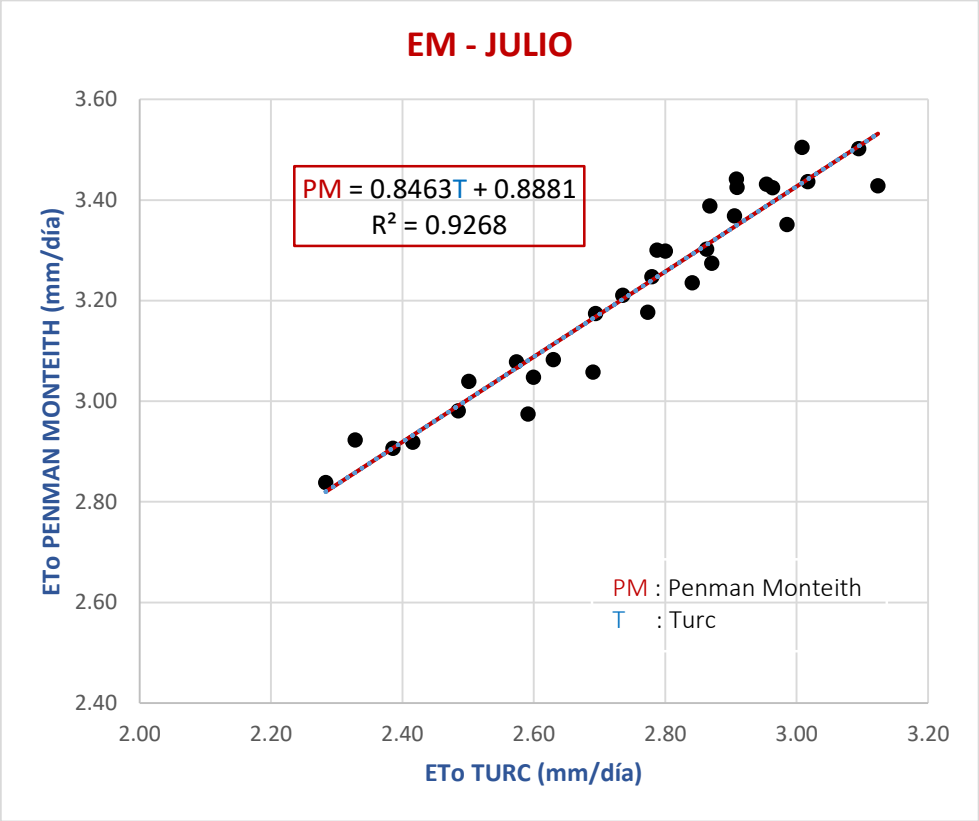


FIGURA 20. Modelo lineal y Coeficiente de determinación entre el método de Penman Monteith y Turc del mes de Agosto

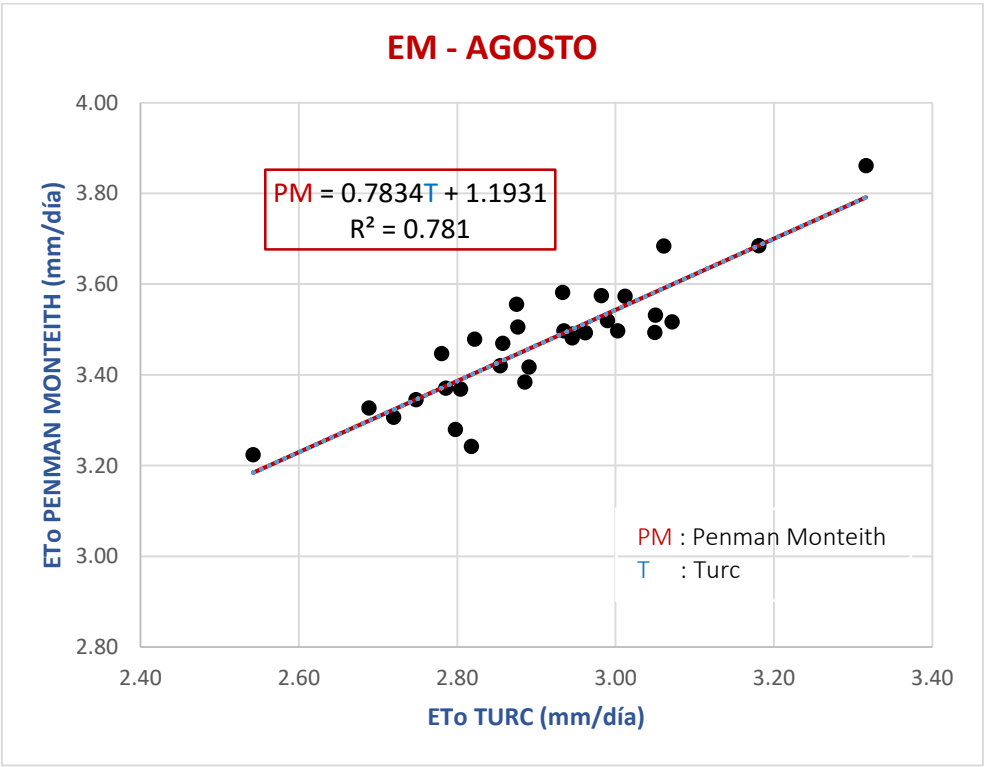


FIGURA 21. Modelo lineal y Coeficiente de determinación entre el método de Penman Monteith y Turc del mes de Setiembre

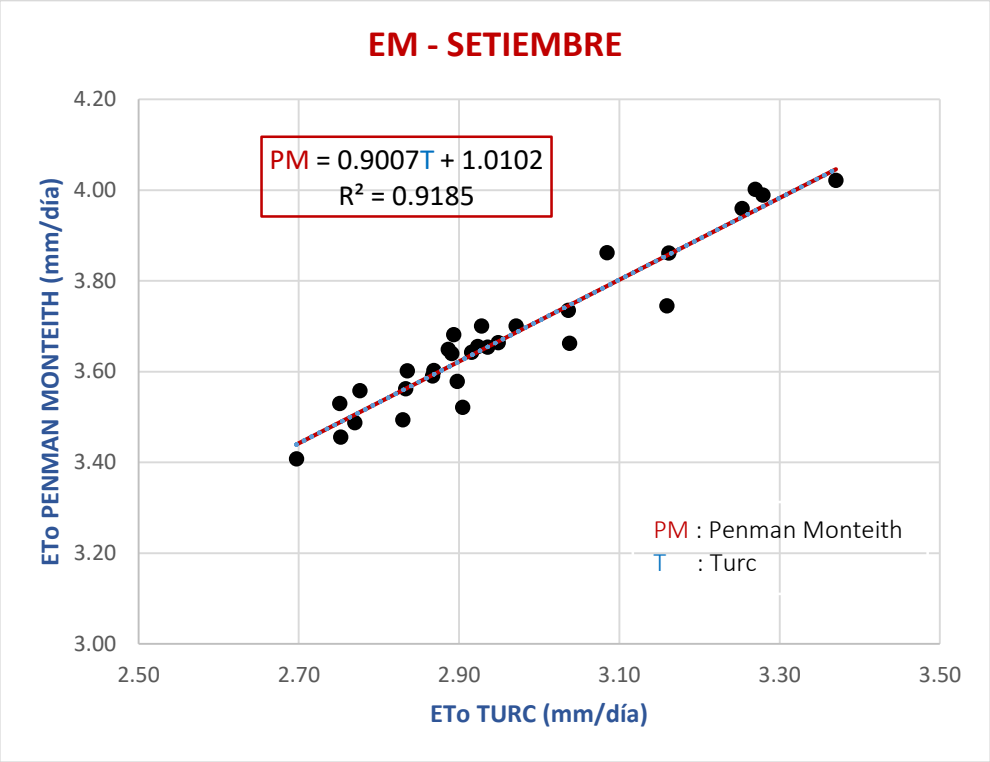


FIGURA 22. Modelo lineal y Coeficiente de determinación entre el método de Penman Monteith y Turc del mes de Octubre

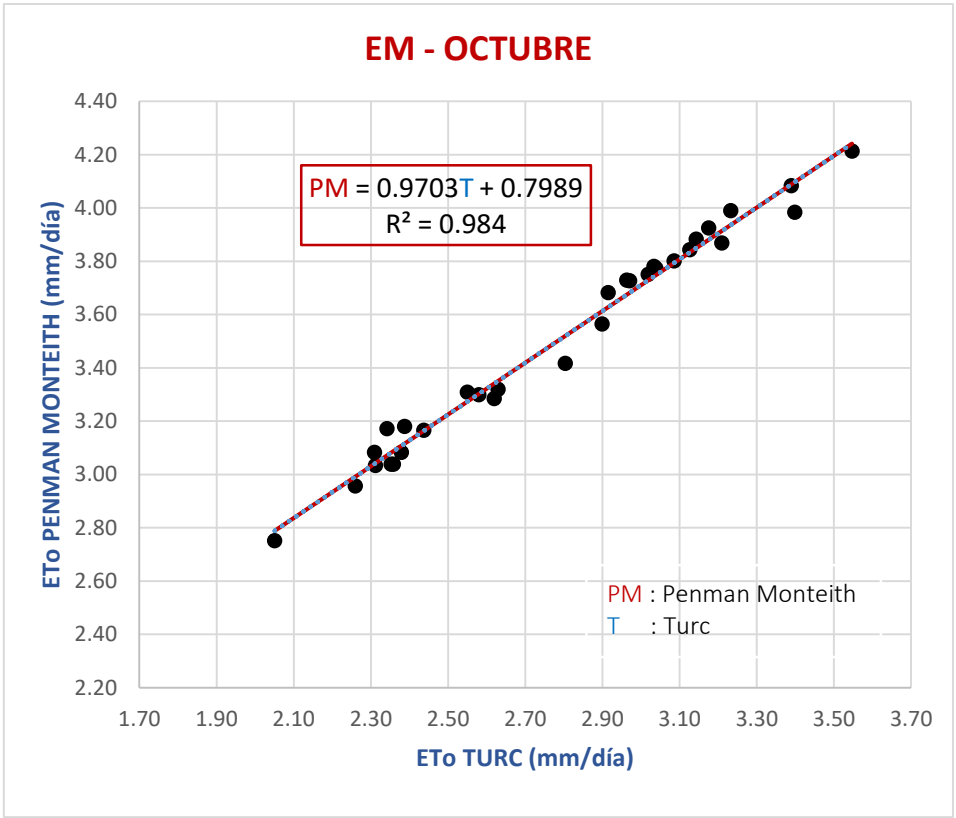


FIGURA 23. Modelo lineal y Coeficiente de determinación entre el método de Penman Monteith y Turc del mes de Noviembre

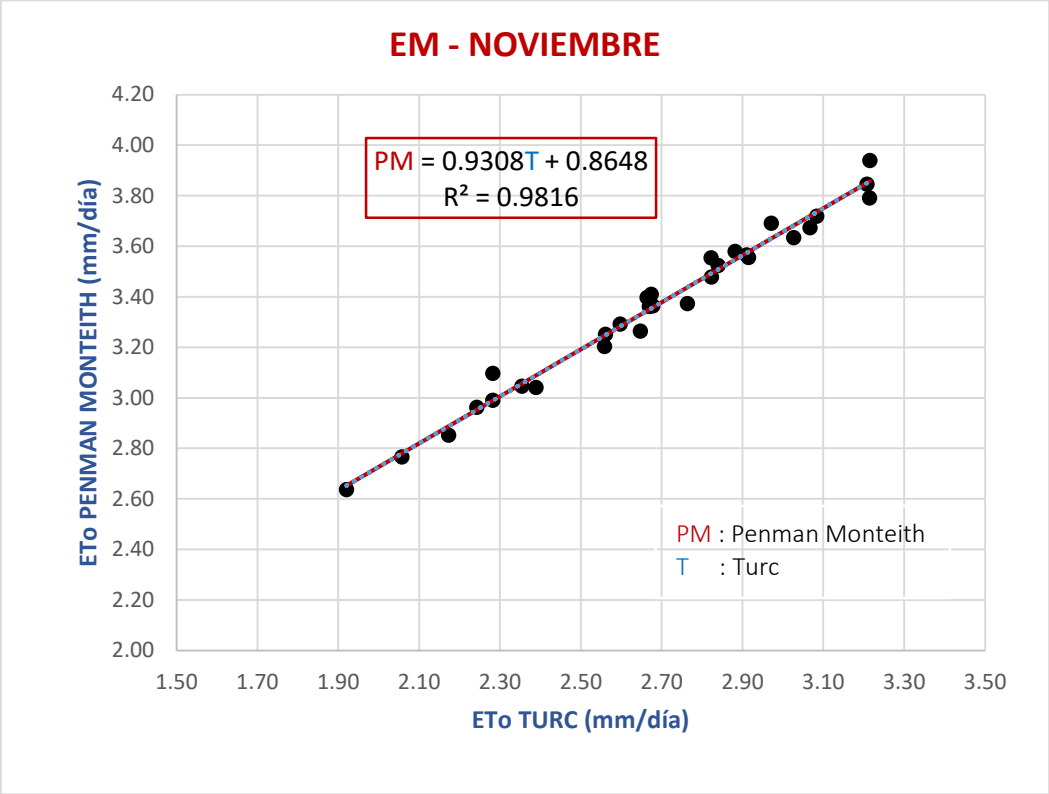


FIGURA 24. Modelo lineal y Coeficiente de determinación entre el método de Penman Monteith y Turc del mes de Diciembre

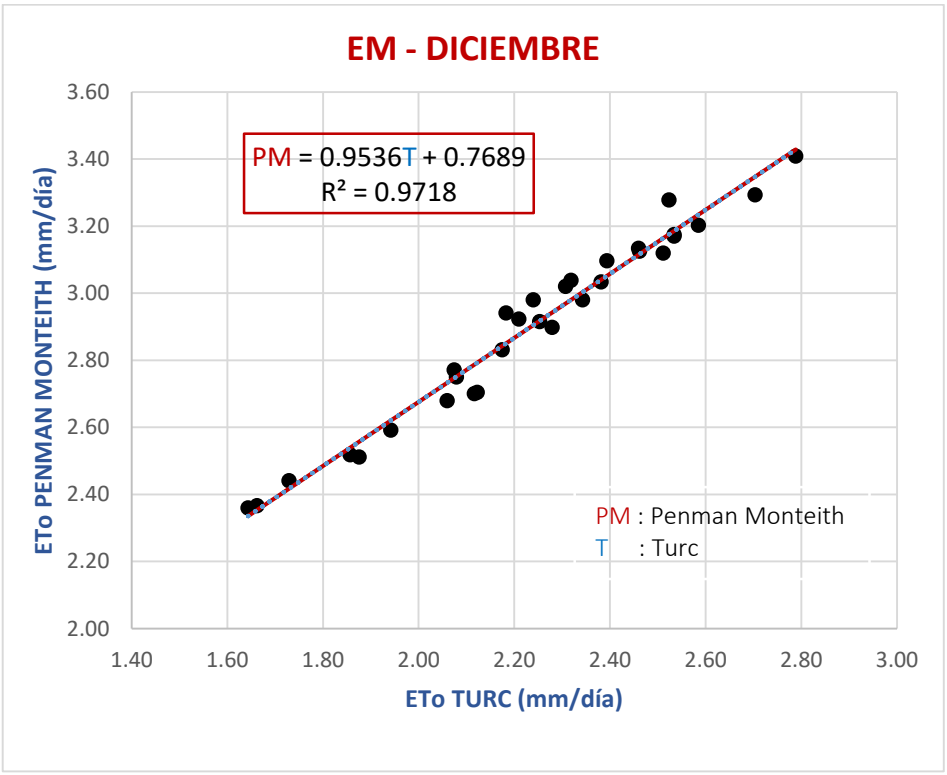


TABLA 13. Evapotranspiración de Referencia (ETo) Método Penman Monteith (PM), Hargreaves (H) y Hargreaves Calibrado (HC), periodo: 2004-2013, mes de enero.

ENERO			
Días	ETo (PM) (mm/día)	ETo(H) (mm/día)	ETo (HC) (mm/día)
1	3.90	4.55	3.95
2	3.82	4.36	3.81
3	3.20	3.48	3.16
4	3.29	3.63	3.27
5	3.10	3.46	3.15
6	3.24	3.62	3.27
7	3.51	3.90	3.47
8	3.63	4.11	3.62
9	3.28	3.63	3.27
10	3.27	3.55	3.21
11	3.43	3.91	3.48
12	3.82	4.40	3.84
13	3.71	4.12	3.63
14	3.26	3.61	3.26
15	3.36	3.73	3.34
16	3.38	3.79	3.39
17	2.74	2.98	2.80
18	3.28	3.67	3.30
19	3.18	3.44	3.13
20	3.55	3.80	3.40
21	3.53	3.78	3.38
22	3.11	3.39	3.10
23	3.23	3.53	3.20
24	3.19	3.54	3.20
25	3.26	3.68	3.31
26	3.81	4.36	3.81
27	3.56	4.11	3.63
28	3.94	4.59	3.98
29	2.98	3.35	3.07
30	2.95	3.31	3.04
31	4.09	4.77	4.11
Promedio	**3.41**	**3.81**	**3.41**

Elaboración propia.

TABLA 14. Evapotranspiración de Referencia (ETo) Método Penman Monteith (PM), Hargreaves (H) y Hargreaves Calibrado (HC), periodo: 2004-2013, mes de febrero.

FEBRERO			
Días	ETo (PM) (mm/día)	ETo(H) (mm/día)	ETo (HC) (mm/día)
1	4.51	5.33	4.52
2	3.20	3.54	3.15
3	2.55	2.82	2.59
4	2.59	2.84	2.61
5	3.60	4.16	3.63
6	3.42	3.83	3.37
7	2.59	2.79	2.57
8	3.32	3.77	3.33
9	3.95	4.58	3.95
10	3.24	3.65	3.23
11	2.86	3.22	2.90
12	2.36	2.54	2.38
13	2.69	3.01	2.74
14	3.01	3.37	3.02
15	2.86	3.21	2.90
16	3.21	3.63	3.22
17	2.60	2.83	2.60
18	3.27	3.64	3.23
19	3.46	3.95	3.46
20	2.47	2.70	2.51
21	2.70	2.90	2.66
22	2.89	3.16	2.86
23	2.58	2.82	2.60
24	3.50	3.99	3.50
25	2.85	3.16	2.85
26	2.66	2.89	2.65
27	2.57	2.73	2.53
28	2.78	3.04	2.76
29	2.58	2.76	2.55
Promedio	**3.00**	**3.34**	**3.00**

Elaboración propia.

TABLA 15. Evapotranspiración de Referencia (ETo) Método Penman Monteith (PM), Hargreaves (H) y Hargreaves Calibrado (HC), periodo: 2004-2013, mes de marzo

MARZO			
Días	ETo (PM) (mm/día)	ETo(H) (mm/día)	ETo (HC) (mm/día)
1	2.87	3.05	2.79
2	2.85	3.02	2.77
3	3.05	3.31	3.00
4	2.99	3.35	3.03
5	2.65	2.97	2.73
6	2.56	2.83	2.62
7	2.52	2.77	2.57
8	2.76	2.98	2.74
9	3.05	3.32	3.00
10	2.41	2.55	2.40
11	2.38	2.56	2.41
12	2.13	2.20	2.13
13	2.32	2.50	2.36
14	2.57	2.78	2.58
15	2.36	2.53	2.39
16	3.15	3.58	3.20
17	2.56	2.79	2.59
18	2.74	3.11	2.84
19	2.26	2.45	2.33
20	2.50	2.79	2.59
21	2.96	3.25	2.95
22	2.55	2.70	2.52
23	2.66	2.85	2.64
24	2.57	2.67	2.49
25	2.79	3.04	2.79
26	2.67	2.87	2.65
27	2.38	2.52	2.38
28	2.81	2.97	2.73
29	2.40	2.50	2.36
30	2.34	2.40	2.28
31	2.43	2.54	2.40
Promedio	**2.62**	**283**	**2.62**

Elaboración propia.

TABLA 16. Evapotranspiración de Referencia (ETo) Método Penman Monteith (PM), Hargreaves (H) y Hargreaves Calibrado (HC), periodo: 2004-2013, mes de abril.

ABRIL			
Días	ETo (PM) (mm/día)	ETo(H) (mm/día)	ETo (HC) (mm/día)
1	2.25	2.52	2.25
2	2.79	3.19	2.76
3	2.39	2.68	2.37
4	2.32	2.60	2.31
5	2.42	2.70	2.38
6	2.48	2.82	2.48
7	2.89	3.36	2.88
8	2.82	3.25	2.80
9	2.46	2.81	2.46
10	2.64	3.07	2.66
11	2.61	3.08	2.67
12	2.98	3.56	3.03
13	2.71	3.15	2.72
14	2.80	3.24	2.79
15	2.64	2.98	2.60
16	2.98	3.51	3.00
17	3.13	3.69	3.13
18	3.30	3.89	3.28
19	3.17	3.67	3.12
20	3.02	3.48	2.97
21	3.31	3.87	3.26
22	3.29	3.88	3.27
23	3.22	3.86	3.25
24	3.05	3.59	3.06
25	2.87	3.37	2.89
26	2.48	2.88	2.52
27	2.60	3.01	2.62
28	2.91	3.45	2.95
29	2.83	3.32	2.85
30	2.80	3.27	2.81
Promedio	**2.80**	**3.26**	**2.80**

Elaboración propia.

TABLA 17. Evapotranspiración de Referencia (ETo) Método Penman Monteith (PM), Hargreaves (H) y Hargreaves Calibrado (HC), periodo: 2004-2013, mes de mayo.

MAYO			
Días	ETo (PM) (mm/día)	ETo(H) (mm/día)	ETo (HC) (mm/día)
1	2.61	3.13	2.76
2	2.80	3.38	2.92
3	2.99	3.63	3.07
4	2.91	3.59	3.05
5	3.12	3.81	3.19
6	3.09	3.58	3.04
7	3.25	3.73	3.14
8	2.93	3.30	2.87
9	2.84	3.07	2.72
10	2.62	2.80	2.56
11	3.16	3.84	3.20
12	3.13	3.74	3.14
13	2.98	3.53	3.01
14	3.33	3.91	3.25
15	3.00	3.54	3.02
16	3.05	3.54	3.02
17	3.09	3.71	3.13
18	3.03	3.64	3.08
19	2.67	3.07	2.72
20	2.60	2.91	2.63
21	2.92	3.35	2.90
22	2.93	3.44	2.96
23	2.46	2.72	2.51
24	2.64	2.91	2.63
25	3.11	3.58	3.04
26	2.67	2.90	2.62
27	2.48	2.61	2.44
28	3.24	3.52	3.00
29	2.82	3.11	2.75
30	2.70	3.12	2.76
31	2.31	2.47	2.36
Promedio	**2.89**	**3.33**	**2.89**

Elaboración propia.

TABLA 18. Evapotranspiración de Referencia (ETo) Método Penman Monteith (PM), Hargreaves (H) y Hargreaves Calibrado (HC), periodo: 2004-2013, mes de Junio.

JUNIO			
Días	ETo (PM) (mm/día)	ETo(H) (mm/día)	ETo (HC) (mm/día)
1	2.91	3.11	2.90
2	3.11	3.57	3.16
3	3.09	3.47	3.10
4	3.07	3.50	3.12
5	2.74	3.01	2.84
6	2.83	2.86	2.76
7	3.19	3.74	3.25
8	3.00	3.49	3.11
9	2.95	3.23	2.97
10	3.40	4.05	3.43
11	2.89	2.96	2.81
12	2.96	3.22	2.96
13	3.08	3.47	3.10
14	3.27	3.70	3.23
15	3.18	3.52	3.13
16	3.21	3.37	3.05
17	3.07	3.25	2.97
18	3.48	3.91	3.35
19	2.97	3.39	3.06
20	2.92	3.27	2.99
21	3.11	3.37	3.04
22	2.90	3.20	2.95
23	2.76	3.02	2.84
24	3.01	3.41	3.07
25	2.98	3.41	3.06
26	2.84	3.04	2.86
27	3.07	3.28	2.99
28	3.20	3.68	3.22
29	2.97	3.18	2.94
30	3.16	3.48	3.11
Promedio	**3.04**	**3.37**	**3.04**

Elaboración propia.

TABLA 19. Evapotranspiración de Referencia (ETo) Método Penman Monteith (PM), Hargreaves (H) y Hargreaves Calibrado (HC), periodo: 2004-2013, mes de julio.

JULIO			
Días	ETo (PM) (mm/día)	ETo(H) (mm/día)	ETo (HC) (mm/día)
1	3.08	3.16	3.06
2	3.17	3.23	3.11
3	2.97	3.26	3.13
4	3.06	3.35	3.20
5	3.04	3.07	3.00
6	3.08	3.30	3.16
7	2.92	3.01	2.96
8	2.84	2.90	2.88
9	2.92	2.88	2.87
10	2.98	3.01	2.95
11	2.91	2.89	2.87
12	3.24	3.46	3.27
13	3.18	3.39	3.22
14	3.21	3.35	3.19
15	3.30	3.35	3.19
16	3.43	3.78	3.49
17	3.27	3.57	3.35
18	3.30	3.53	3.32
19	3.35	3.61	3.38
20	3.05	3.22	3.11
21	3.50	3.58	3.36
22	3.44	3.66	3.41
23	3.39	3.55	3.34
24	3.37	3.58	3.36
25	3.44	3.55	3.33
26	3.42	3.65	3.41
27	3.30	3.53	3.32
28	3.43	3.57	3.35
29	3.50	3.86	3.55
30	3.43	3.65	3.40
31	3.25	3.41	3.23
Promedio	**3.22**	**3.38**	**3.22**

Elaboración propia.

TABLA 20. Evapotranspiración de Referencia (ETo) Método Penman Monteith (PM), Hargreaves (H) y Hargreaves Calibrado (HC), periodo: 2004-2013, mes de agosto.

AGOSTO			
Días	ETo (PM) (mm/día)	ETo(H) (mm/día)	ETo (HC) (mm/día)
1	3.24	3.39	3.34
2	3.49	3.48	3.40
3	3.47	3.43	3.37
4	3.28	3.44	3.37
5	3.33	3.31	3.30
6	3.50	3.67	3.51
7	3.53	3.77	3.57
8	3.35	3.38	3.33
9	3.37	3.47	3.39
10	3.22	3.23	3.24
11	3.58	3.55	3.44
12	3.69	3.83	3.60
13	3.68	3.72	3.54
14	3.48	3.56	3.45
15	3.42	3.56	3.44
16	3.52	3.73	3.54
17	3.49	3.77	3.57
18	3.37	3.55	3.44
19	3.38	3.68	3.51
20	3.49	3.76	3.56
21	3.48	3.69	3.52
22	3.31	3.46	3.38
23	3.52	3.83	3.60
24	3.50	3.75	3.56
25	3.57	3.79	3.58
26	3.51	3.56	3.45
27	3.45	3.45	3.38
28	3.86	4.05	3.74
29	3.56	3.54	3.43
30	3.57	3.76	3.56
31	3.42	3.66	3.50
Promedio	**3.47**	**3.61**	**3.47**

Elaboración propia.

TABLA 21. Evapotranspiración de Referencia (ETo) Método Penman Monteith (PM), Hargreaves (H) y Hargreaves Calibrado (HC), periodo: 2004-2013, mes de setiembre.

SETIEMBRE			
Días	ETo (PM) (mm/día)	ETo(H) (mm/día)	ETo (HC) (mm/día)
1	3.66	3.87	3.80
2	3.75	3.92	3.84
3	3.65	3.63	3.63
4	3.52	3.55	3.58
5	3.49	3.44	3.51
6	3.41	3.30	3.41
7	3.74	3.73	3.70
8	3.46	3.42	3.49
9	3.65	3.69	3.68
10	3.86	3.85	3.78
11	4.02	4.28	4.09
12	3.96	4.03	3.91
13	3.99	4.06	3.93
14	3.86	3.88	3.81
15	3.70	3.64	3.64
16	3.53	3.45	3.51
17	3.58	3.62	3.63
18	3.56	3.50	3.54
19	3.49	3.50	3.54
20	3.66	3.72	3.70
21	3.60	3.66	3.66
22	3.64	3.69	3.68
23	3.60	3.50	3.55
24	3.64	3.62	3.63
25	3.56	3.58	3.60
26	3.70	3.67	3.67
27	3.68	3.56	3.59
28	3.66	3.61	3.62
29	4.00	4.07	3.94
30	3.59	3.55	3.58
Promedio	**3.67**	**3.69**	**3.67**

Elaboración propia.

TABLA 22. Evapotranspiración de Referencia (ETo) Método Penman Monteith (PM), Hargreaves (H) y Hargreaves Calibrado (HC), periodo: 2004-2013, mes de octubre.

OCTUBRE			
Días	ETo (PM) (mm/día)	ETo(H) (mm/día)	ETo (HC) (mm/día)
1	3.84	3.86	3.71
2	3.73	3.70	3.56
3	4.08	4.21	4.02
4	4.21	4.39	4.19
5	3.77	3.83	3.68
6	3.18	3.12	3.04
7	3.87	4.08	3.91
8	3.80	3.90	3.75
9	3.73	3.69	3.55
10	3.32	3.45	3.34
11	3.75	3.88	3.73
12	3.99	4.10	3.93
13	3.88	4.05	3.88
14	3.68	3.70	3.56
15	3.92	4.17	3.98
16	3.78	3.82	3.68
17	3.17	3.08	3.01
18	3.31	3.33	3.23
19	3.30	3.37	3.27
20	3.08	3.11	3.04
21	3.56	3.83	3.68
22	3.98	4.40	4.20
23	3.03	3.19	3.11
24	3.17	3.41	3.30
25	3.28	3.54	3.42
26	2.75	2.87	2.82
27	3.42	3.77	3.63
28	3.04	3.25	3.16
29	2.96	3.05	2.98
30	3.08	3.30	3.21
31	3.04	3.23	3.14
Promedio	**3.51**	**3.64**	**3.51**

Elaboración propia.

TABLA 23. Evapotranspiración de Referencia (ETo) Método Penman Monteith (PM), Hargreaves (H) y Hargreaves Calibrado (HC), periodo: 2004-2013, mes de noviembre

NOVIEMBRE			
Días	ETo (PM) (mm/día)	ETo(H) (mm/día)	ETo (HC) (mm/día)
1	2.96	3.12	3.01
2	3.41	3.67	3.46
3	3.58	3.84	3.59
4	3.57	3.83	3.59
5	3.69	3.90	3.65
6	3.55	3.79	3.55
7	3.10	3.13	3.01
8	3.94	4.13	3.84
9	3.85	4.10	3.81
10	3.36	3.47	3.29
11	3.25	3.38	3.22
12	3.56	3.88	3.63
13	3.52	3.71	3.49
14	3.67	4.05	3.77
15	3.79	4.19	3.88
16	2.64	2.75	2.71
17	3.20	3.47	3.29
18	2.85	2.99	2.90
19	3.29	3.47	3.29
20	3.40	3.42	3.25
21	3.72	3.91	3.66
22	3.48	3.62	3.41
23	3.63	3.95	3.68
24	3.26	3.48	3.30
25	3.36	3.59	3.39
26	2.77	2.81	2.75
27	3.04	3.17	3.05
28	3.37	3.57	3.38
29	2.99	3.12	3.01
30	3.05	3.15	3.03
Promedio	**3.36**	**3.55**	**3.36**

Elaboración propia.

TABLA 24. Evapotranspiración de Referencia (ETo) Método Penman Monteith (PM), Hargreaves (H) y Hargreaves Calibrado (HC), periodo: 2004-2013, mes de diciembre.

DICIEMBRE			
Días	ETo (PM) (mm/día)	ETo(H) (mm/día)	ETo (HC) (mm/día)
1	3.02	2.98	2.84
2	3.41	3.61	3.35
3	2.77	2.70	2.62
4	3.29	3.55	3.29
5	3.10	3.19	3.01
6	3.12	3.29	3.09
7	3.28	3.47	3.23
8	2.94	2.99	2.85
9	3.17	3.41	3.19
10	2.90	2.92	2.79
11	2.70	2.77	2.68
12	2.70	2.84	2.73
13	3.12	3.36	3.14
14	2.59	2.72	2.63
15	3.20	3.51	3.27
16	2.98	3.23	3.04
17	2.37	2.36	2.35
18	3.04	3.12	2.95
19	2.83	3.00	2.86
20	2.52	2.66	2.59
21	2.44	2.54	2.49
22	2.68	2.84	2.73
23	2.51	2.63	2.57
24	2.75	2.88	2.76
25	2.36	2.48	2.44
26	2.92	3.10	2.94
27	2.92	3.13	2.96
28	2.98	3.23	3.04
29	3.17	3.45	3.22
30	3.13	3.47	3.23
31	3.03	3.27	3.07
Promedio	**2.90**	**3.05**	**2.90**

Elaboración propia.

TABLA 25. Evapotranspiración de Referencia (ETo) Método Penman Monteith (PM), Turc (T) y Turc Calibrado (TC), periodo: 2004-2013, mes de Enero.

ENERO			
Días	ETo (PM) (mm/día)	ETo(T) (mm/día)	ETo (TC) (mm/día)
1	3.90	3.39	3.89
2	3.82	3.30	3.81
3	3.20	2.60	3.21
4	3.29	2.70	3.29
5	3.10	2.50	3.12
6	3.24	2.61	3.22
7	3.51	2.94	3.50
8	3.63	3.10	3.64
9	3.28	2.70	3.29
10	3.27	2.63	3.23
11	3.43	2.87	3.44
12	3.82	3.28	3.79
13	3.71	3.16	3.69
14	3.26	2.69	3.28
15	3.36	2.76	3.35
16	3.38	2.80	3.38
17	2.74	2.10	2.77
18	3.28	2.74	3.33
19	3.18	2.57	3.18
20	3.55	2.95	3.51
21	3.53	2.88	3.45
22	3.11	2.46	3.09
23	3.23	2.57	3.18
24	3.19	2.58	3.19
25	3.26	2.65	3.25
26	3.81	3.28	3.79
27	3.56	3.05	3.59
28	3.94	3.52	4.00
29	2.98	2.37	3.01
30	2.95	2.35	2.99
31	4.09	3.65	4.11
Promedio	**3.41**	**2.83**	**3.41**

Elaboración propia.

TABLA 26. Evapotranspiración de Referencia (ETo) Método Penman Monteith (PM), Turc (T) y Turc Calibrado (TC), periodo: 2004-2013, mes de Febrero.

FEBRERO			
Días	ETo (PM) (mm/día)	ETo(T) (mm/día)	ETo (TC) (mm/día)
1	4.51	4.09	4.54
2	3.20	2.53	3.14
3	2.55	1.92	2.58
4	2.59	1.99	2.64
5	3.60	3.09	3.64
6	3.42	2.84	3.41
7	2.59	1.99	2.64
8	3.32	2.77	3.35
9	3.95	3.47	3.99
10	3.24	2.67	3.26
11	2.86	2.25	2.88
12	2.36	1.72	2.40
13	2.69	2.09	2.74
14	3.01	2.41	3.03
15	2.86	2.25	2.88
16	3.21	2.59	3.19
17	2.60	1.93	2.59
18	3.27	2.58	3.18
19	3.46	2.80	3.38
20	2.47	1.77	2.44
21	2.70	1.99	2.64
22	2.89	2.19	2.83
23	2.58	1.93	2.59
24	3.50	2.88	3.45
25	2.85	2.23	2.86
26	2.66	2.04	2.69
27	2.57	1.93	2.59
28	2.78	2.13	2.77
29	2.58	1.89	2.56
Promedio	**3.00**	**2.38**	**3.00**

Elaboración propia.

TABLA 27. Evapotranspiración de Referencia (ETo) Método Penman Monteith (PM), Turc (T) y Turc Calibrado (TC), periodo: 2004-2013, mes de Marzo.

MARZO			
Días	ETo (PM) (mm/día)	ETo(T) (mm/día)	ETo (TC) (mm/día)
1	2.87	2.26	2.84
2	2.85	2.24	2.83
3	3.05	2.47	3.04
4	2.99	2.43	3.00
5	2.65	2.03	2.64
6	2.56	1.93	2.54
7	2.52	1.85	2.47
8	2.76	2.14	2.74
9	3.05	2.44	3.01
10	2.41	1.76	2.38
11	2.38	1.74	2.37
12	2.13	1.46	2.11
13	2.32	1.71	2.34
14	2.57	1.93	2.54
15	2.36	1.71	2.34
16	3.15	2.57	3.13
17	2.56	1.98	2.59
18	2.74	2.22	2.81
19	2.26	1.66	2.29
20	2.50	1.91	2.53
21	2.96	2.40	2.97
22	2.55	1.94	2.55
23	2.66	2.07	2.67
24	2.57	1.97	2.58
25	2.79	2.24	2.83
26	2.67	2.12	2.72
27	2.38	1.78	2.41
28	2.81	2.21	2.80
29	2.40	1.81	2.43
30	2.34	1.69	2.32
31	2.43	1.80	2.42
Promedio	**2.62**	**2.02**	**2.62**

Elaboración propia.

TABLA 28. Evapotranspiración de Referencia (ETo) Método Penman Monteith (PM), Turc (T) y Turc Calibrado (TC), periodo: 2004-2013, mes de abril

ABRIL			
Días	ETo (PM) (mm/día)	ETo(T) (mm/día)	ETo (TC) (mm/día)
1	2.25	1.72	2.26
2	2.79	2.28	2.72
3	2.39	1.83	2.36
4	2.32	1.74	2.28
5	2.42	1.90	2.41
6	2.48	2.02	2.51
7	2.89	2.46	2.86
8	2.82	2.35	2.78
9	2.46	1.97	2.47
10	2.64	2.16	2.62
11	2.61	2.17	2.63
12	2.98	2.58	2.96
13	2.71	2.23	2.68
14	2.80	2.34	2.77
15	2.64	2.17	2.63
16	2.98	2.60	2.98
17	3.13	2.75	3.10
18	3.30	2.98	3.29
19	3.17	2.81	3.15
20	3.02	2.62	3.00
21	3.31	2.98	3.29
22	3.29	2.97	3.28
23	3.22	2.89	3.21
24	3.05	2.74	3.09
25	2.87	2.49	2.89
26	2.48	2.10	2.57
27	2.60	2.16	2.62
28	2.91	2.55	2.94
29	2.83	2.51	2.91
30	2.80	2.44	2.85
Promedio	**2.80**	**2.38**	**2.80**

Elaboración propia.

TABLA 29. Evapotranspiración de Referencia (ETo) Método Penman Monteith (PM), Turc (T) y Turc Calibrado (TC), periodo: 2004-2013, mes de Mayo.

MAYO			
Días	ETo (PM) (mm/día)	ETo(T) (mm/día)	ETo (TC) (mm/día)
1	2.61	2.26	2.63
2	2.80	2.46	2.79
3	2.99	2.71	2.99
4	2.91	2.63	2.92
5	3.12	2.91	3.15
6	3.09	2.75	3.02
7	3.25	2.94	3.17
8	2.93	2.63	2.92
9	2.84	2.42	2.75
10	2.62	2.21	2.58
11	3.16	2.99	3.22
12	3.13	2.94	3.17
13	2.98	2.77	3.03
14	3.33	3.12	3.32
15	3.00	2.78	3.05
16	3.05	2.77	3.03
17	3.09	2.88	3.13
18	3.03	2.83	3.09
19	2.67	2.38	2.72
20	2.60	2.27	2.63
21	2.92	2.61	2.90
22	2.93	2.69	2.97
23	2.46	2.07	2.47
24	2.64	2.26	2.62
25	3.11	2.78	3.04
26	2.67	2.28	2.64
27	2.48	2.09	2.49
28	3.24	2.86	3.11
29	2.82	2.51	2.83
30	2.70	2.44	2.77
31	2.31	1.88	2.32
Promedio	**2.89**	**2.58**	**2.89**

Elaboración propia.

TABLA 30. Evapotranspiración de Referencia (ETo) Método Penman Monteith (PM), Turc (T) y Turc Calibrado (TC), periodo: 2004-2013, mes de Junio.

JUNIO			
Días	ETo (PM) (mm/día)	ETo(T) (mm/día)	ETo (TC) (mm/día)
1	2.91	2.51	2.92
2	3.11	2.89	3.19
3	3.09	2.79	3.11
4	3.07	2.75	3.09
5	2.74	2.33	2.79
6	2.83	2.32	2.79
7	3.19	3.01	3.27
8	3.00	2.74	3.08
9	2.95	2.53	2.93
10	3.40	3.21	3.40
11	2.89	2.36	2.81
12	2.96	2.56	2.96
13	3.08	2.81	3.13
14	3.27	3.03	3.28
15	3.18	2.82	3.13
16	3.21	2.74	3.08
17	3.07	2.66	3.02
18	3.48	3.17	3.38
19	2.97	2.70	3.05
20	2.92	2.61	2.99
21	3.11	2.68	3.04
22	2.90	2.54	2.94
23	2.76	2.32	2.79
24	3.01	2.61	2.99
25	2.98	2.66	3.02
26	2.84	2.43	2.86
27	3.07	2.69	3.04
28	3.20	2.94	3.22
29	2.97	2.57	2.96
30	3.16	2.76	3.09
Promedio	**3.04**	**2.69**	**3.04**

Elaboración propia.

TABLA 31. Evapotranspiración de Referencia (ETo) Método Penman Monteith (PM), Turc (T) y Turc Calibrado (TC), periodo: 2004-2013, mes de julio.

JULIO			
Días	ETo (PM) (mm/día)	ETo(T) (mm/día)	ETo (TC) (mm/día)
1	3.08	2.57	3.07
2	3.17	2.69	3.17
3	2.97	2.59	3.08
4	3.06	2.69	3.16
5	3.04	2.50	3.00
6	3.08	2.63	3.11
7	2.92	2.42	2.93
8	2.84	2.28	2.82
9	2.92	2.33	2.86
10	2.98	2.48	2.99
11	2.91	2.39	2.91
12	3.24	2.84	3.29
13	3.18	2.77	3.24
14	3.21	2.74	3.20
15	3.30	2.79	3.25
16	3.43	3.12	3.53
17	3.27	2.87	3.32
18	3.30	2.86	3.31
19	3.35	2.99	3.41
20	3.05	2.60	3.09
21	3.50	3.01	3.43
22	3.44	3.02	3.44
23	3.39	2.87	3.31
24	3.37	2.91	3.35
25	3.44	2.91	3.35
26	3.42	2.96	3.40
27	3.30	2.80	3.26
28	3.43	2.91	3.35
29	3.50	3.09	3.51
30	3.43	2.95	3.39
31	3.25	2.78	3.24
Promedio	**3.22**	**2.75**	**3.22**

Elaboración propia.

TABLA 32. Evapotranspiración de Referencia (ETo) Método Penman Monteith (PM), Turc (T) y Turc Calibrado (TC), periodo: 2004-2013, mes de agosto

AGOSTO			
Días	ETo (PM) (mm/día)	ETo(T) (mm/día)	ETo (TC) (mm/día)
1	3.24	2.82	3.40
2	3.49	2.95	3.50
3	3.47	2.86	3.43
4	3.28	2.80	3.38
5	3.33	2.69	3.30
6	3.50	2.93	3.49
7	3.53	3.05	3.58
8	3.35	2.75	3.35
9	3.37	2.79	3.38
10	3.22	2.54	3.18
11	3.58	2.93	3.49
12	3.69	3.18	3.69
13	3.68	3.06	3.59
14	3.48	2.82	3.40
15	3.42	2.89	3.46
16	3.52	2.99	3.54
17	3.49	3.05	3.58
18	3.37	2.80	3.39
19	3.38	2.89	3.45
20	3.49	2.96	3.51
21	3.48	2.95	3.50
22	3.31	2.72	3.32
23	3.52	3.07	3.60
24	3.50	3.00	3.55
25	3.57	2.98	3.53
26	3.51	2.88	3.45
27	3.45	2.78	3.37
28	3.86	3.32	3.79
29	3.56	2.87	3.45
30	3.57	3.01	3.55
31	3.42	2.85	3.43
Promedio	**3.47**	**2.91**	**3.47**

Elaboración propia.

TABLA 33. Evapotranspiración de Referencia (ETo) Método Penman Monteith (PM), Turc (T) y Turc Calibrado (TC), periodo: 2004-2013, mes de setiembre

SETIEMBRE			
Días	ETo (PM) (mm/día)	ETo(T) (mm/día)	ETo (TC) (mm/día)
1	3.66	3.04	3.75
2	3.75	3.16	3.86
3	3.65	2.94	3.65
4	3.52	2.90	3.63
5	3.49	2.83	3.56
6	3.41	2.70	3.44
7	3.74	3.04	3.74
8	3.46	2.75	3.49
9	3.65	2.89	3.61
10	3.86	3.08	3.79
11	4.02	3.37	4.05
12	3.96	3.25	3.94
13	3.99	3.28	3.96
14	3.86	3.16	3.86
15	3.70	2.93	3.65
16	3.53	2.75	3.49
17	3.58	2.90	3.62
18	3.56	2.78	3.51
19	3.49	2.77	3.50
20	3.66	2.95	3.67
21	3.60	2.87	3.59
22	3.64	2.92	3.64
23	3.60	2.84	3.56
24	3.64	2.89	3.61
25	3.56	2.83	3.56
26	3.70	2.97	3.69
27	3.68	2.89	3.62
28	3.66	2.92	3.64
29	4.00	3.27	3.96
30	3.59	2.87	3.59
Promedio	**3.67**	**2.96**	**3.67**

Elaboración propia.

TABLA 34. Evapotranspiración de Referencia (ETo) Método Penman Monteith (PM), Turc (T) y Turc Calibrado (TC), periodo: 2004-2013, mes de octubre

OCTUBRE			
Días	ETo (PM) (mm/día)	ETo(T) (mm/día)	ETo (TC) (mm/día)
1	3.84	3.13	3.83
2	3.73	2.97	3.68
3	4.08	3.39	4.09
4	4.21	3.55	4.24
5	3.77	3.04	3.75
6	3.18	2.39	3.11
7	3.87	3.21	3.91
8	3.80	3.09	3.79
9	3.73	2.96	3.67
10	3.32	2.63	3.35
11	3.75	3.02	3.73
12	3.99	3.23	3.94
13	3.88	3.14	3.85
14	3.68	2.91	3.63
15	3.92	3.18	3.88
16	3.78	3.03	3.74
17	3.17	2.34	3.07
18	3.31	2.55	3.27
19	3.30	2.58	3.30
20	3.08	2.31	3.04
21	3.56	2.90	3.61
22	3.98	3.40	4.10
23	3.03	2.31	3.04
24	3.17	2.44	3.16
25	3.28	2.62	3.34
26	2.75	2.05	2.79
27	3.42	2.80	3.52
28	3.04	2.35	3.08
29	2.96	2.26	2.99
30	3.08	2.38	3.11
31	3.04	2.36	3.09
Promedio	**3.51**	**2.79**	**3.51**

Elaboración propia.

TABLA 35. Evapotranspiración de Referencia (ETo) Método Penman Monteith (PM), Turc (T) y Turc Calibrado (TC), periodo: 2004-2013, mes de noviembre

NOVIEMBRE			
Días	ETo (PM) (mm/día)	ETo(T) (mm/día)	ETo (TC) (mm/día)
1	2.96	2.24	2.95
2	3.41	2.67	3.35
3	3.58	2.88	3.55
4	3.57	2.91	3.57
5	3.69	2.97	3.63
6	3.55	2.82	3.49
7	3.10	2.28	2.99
8	3.94	3.22	3.86
9	3.85	3.21	3.85
10	3.36	2.68	3.36
11	3.25	2.56	3.25
12	3.56	2.92	3.58
13	3.52	2.84	3.51
14	3.67	3.07	3.72
15	3.79	3.21	3.86
16	2.64	1.92	2.65
17	3.20	2.56	3.25
18	2.85	2.17	2.89
19	3.29	2.60	3.28
20	3.40	2.66	3.34
21	3.72	3.08	3.74
22	3.48	2.82	3.49
23	3.63	3.03	3.68
24	3.26	2.65	3.33
25	3.36	2.67	3.35
26	2.77	2.06	2.78
27	3.04	2.39	3.09
28	3.37	2.76	3.44
29	2.99	2.28	2.99
30	3.05	2.35	3.06
Promedio	**3.36**	**2.68**	**3.36**

Elaboración propia.

TABLA 36. Evapotranspiración de Referencia (ETo) Método Penman Monteith (PM), Turc (T) y Turc Calibrado (TC), periodo: 2004-2013, mes de diciembre

DICIEMBRE			
Días	ETo (PM) (mm/día)	ETo(T) (mm/día)	ETo (TC) (mm/día)
1	3.02	2.31	2.97
2	3.41	2.79	3.43
3	2.77	2.07	2.75
4	3.29	2.70	3.35
5	3.10	2.39	3.05
6	3.12	2.46	3.12
7	3.28	2.52	3.17
8	2.94	2.18	2.85
9	3.17	2.53	3.19
10	2.90	2.28	2.94
11	2.70	2.12	2.79
12	2.70	2.12	2.79
13	3.12	2.51	3.16
14	2.59	1.94	2.62
15	3.20	2.58	3.23
16	2.98	2.24	2.90
17	2.37	1.66	2.35
18	3.04	2.32	2.98
19	2.83	2.17	2.84
20	2.52	1.86	2.54
21	2.44	1.73	2.42
22	2.68	2.06	2.73
23	2.51	1.88	2.56
24	2.75	2.08	2.75
25	2.36	1.64	2.34
26	2.92	2.21	2.88
27	2.92	2.25	2.92
28	2.98	2.34	3.00
29	3.17	2.53	3.19
30	3.13	2.46	3.11
31	3.03	2.38	3.04
Promedio	**2.90**	**2.24**	**2.90**

Elaboración propia.

TABLA 37. Análisis estadístico diario de la Evapotranspiración de Referencia ETo método de Penman-Monteith (PM) y Hargreaves (H), periodo 2004-2013

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
N° DE DÍAS	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
B_0	0.6022	0.4278	0.4105	0.3563	0.8223	1.1477	0.8426	1.3053	1.1218	0.2404	0.447	0.4767
B_1	0.7357	0.7691	0.7808	0.7515	0.6201	0.5625	0.702	0.6008	0.6921	0.8985	0.8202	0.7938
R^2	0.9678	0.9963	0.9588	0.9898	0.8983	0.8265	0.8827	0.6512	0.8877	0.9194	0.9659	0.9381
Estadístico calculado (t_c)	19.77	56.84	17.39	35.52	10.72	7.87	9.89	4.93	10.14	12.18	19.19	14.04
Estadístico tabular (t_t)	2.045	2.056	2.045	2.048	2.045	2.048	2.045	2.045	2.048	2.045	2.048	2.045
Análisis Estadítico	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK

Elaboración propia.

TABLA 38. Análisis estadístico diario de la Evapotranspiración de Referencia ETo método de Penman-Monteith (PM) y Turc (T), periodo 2004-2013

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
N° DE DÍAS	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
B_0	0.9578	0.8413	0.7652	0.8664	0.7974	1.1797	0.8881	1.1931	1.0102	0.7989	0.8648	0.7689
B_1	0.8649	0.9061	0.9209	0.813	0.8081	0.6928	0.8463	0.7834	0.9007	0.9703	0.9308	0.9536
R^2	0.991	0.9929	0.9876	0.9861	0.9651	0.8931	0.9268	0.781	0.9185	0.984	0.9816	0.9718
Estadístico calculado (t_c)	37.83	40.97	32.18	30.37	18.96	10.42	12.83	6.81	12.10	28.28	26.33	21.17
Estadístico tabular (t_t)	2.045	2.056	2.045	2.048	2.045	2.048	2.045	2.045	2.048	2.045	2.048	2.045
Análisis Estadítico	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK

Elaboración propia.

TABLA 39. Resultados de las ecuaciones de correlación de Penman Monteith y Hargreaves mediante el siguiente modelo lineal, periodo: 2004-2013

$$ETo(PM) = B_0 + B_1 ETo(H)$$

MES	a	b	R^2	r	r (%)	
ENERO	0.6022	0.7357	0.9678	0.9838	98.38%	EXCELENTE
FEBRERO	0.4278	0.7691	0.9963	0.9981	99.81%	EXCELENTE
MARZO	0.4105	0.7808	0.9588	0.9792	97.92%	EXCELENTE
ABRIL	0.3563	0.7515	0.9898	0.9949	99.49%	EXCELENTE
MAYO	0.8223	0.6201	0.8983	0.9478	94.78%	EXCELENTE
JUNIO	1.1477	0.5625	0.8265	0.9091	90.91%	EXCELENTE
JULIO	0.8426	0.702	0.8827	0.9395	93.95%	EXCELENTE
AGOSTO	1.3053	0.6008	0.6512	0.8070	80.70%	BUENO
SETIEMBRE	1.1218	0.6921	0.8877	0.9422	94.22%	EXCELENTE
OCTUBRE	0.2404	0.8985	0.9194	0.9589	95.89%	EXCELENTE
NOVIEMBRE	0.447	0.8202	0.9659	0.9828	98.28%	EXCELENTE
DICIEMBRE	0.4767	0.7938	0.9381	0.9686	96.86%	EXCELENTE

Elaboración propia.

TABLA 40. Resultados de las ecuaciones de correlación de Penman Monteith y Turc mediante el siguiente modelo lineal, periodo: 2004-2013

$$ETo(PM) = B_0 + B_1 ETo(T)$$

MES	a	b	R^2	r	r (%)	
ENERO	0.9578	0.8649	0.991	0.9955	99.55%	EXCELENTE
FEBRERO	0.8413	0.9061	0.9929	0.9964	99.64%	EXCELENTE
MARZO	0.7652	0.9209	0.9876	0.9938	99.38%	EXCELENTE
ABRIL	0.8664	0.813	0.9861	0.9930	99.30%	EXCELENTE
MAYO	0.7974	0.8081	0.9651	0.9824	98.24%	EXCELENTE
JUNIO	1.1797	0.6928	0.8931	0.9450	94.50%	EXCELENTE
JULIO	0.8881	0.8463	0.9268	0.9627	96.27%	EXCELENTE
AGOSTO	1.1931	0.7834	0.781	0.8837	88.37%	BUENO
SETIEMBRE	1.0102	0.9007	0.9185	0.9584	95.84%	EXCELENTE
OCTUBRE	0.7989	0.9703	0.984	0.9920	99.20%	EXCELENTE
NOVIEMBRE	0.8648	0.9308	0.9816	0.9908	99.08%	EXCELENTE
DICIEMBRE	0.7689	0.9536	0.9718	0.9858	98.58%	EXCELENTE

Elaboración propia.

FIGURA 25. Modelo lineal y Coeficiente de determinación entre Penman Monteith y Hargreaves, periodo: 2004-2013

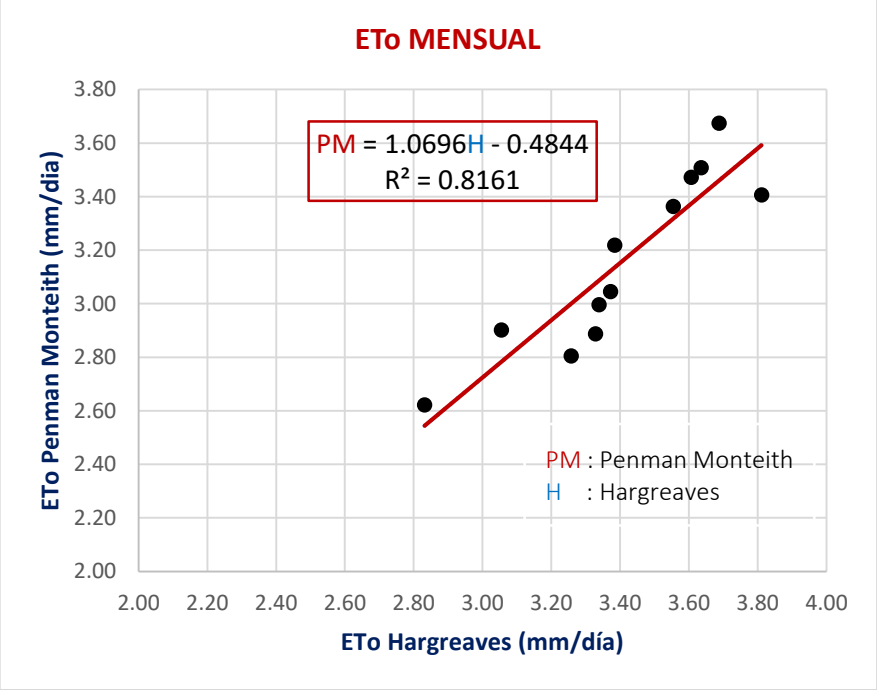


TABLA 41. Evapotranspiración de Referencia mensual método Penman Monteith, Hargreaves, Hargreaves Calibrado, periodo 2004-2013

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
ETo Penman Monteith (mm/día)	3.41	3.00	2.62	2.80	2.89	3.04	3.22	3.47	3.67	3.51	3.36	2.90
ETo Hargreaves (mm/día)	3.81	3.34	2.83	3.26	3.33	3.37	3.38	3.61	3.69	3.64	3.55	3.05
ETo Hargreaves Calibrado (mm/día)	3.59	3.09	2.54	3.00	3.08	3.12	3.14	3.37	3.46	3.40	3.32	2.78

Elaboración propia.

TABLA 42. Resultados de la ecuación de correlación de Penman Monteith y Hargreaves mediante el siguiente modelo lineal ETo(PM) = B0+ B1*ETo(H), periodo: 2004-2013

Periodo	B0	B1	R^2	r	r (%)	
2004-2013	-0.48	1.07	0.819	0.9048	90.48%	EXCELENTE

Elaboración propia

FIGURA 26. Modelo lineal y Coeficiente de determinación entre Penman Monteith y Turc, periodo: 2004-2013

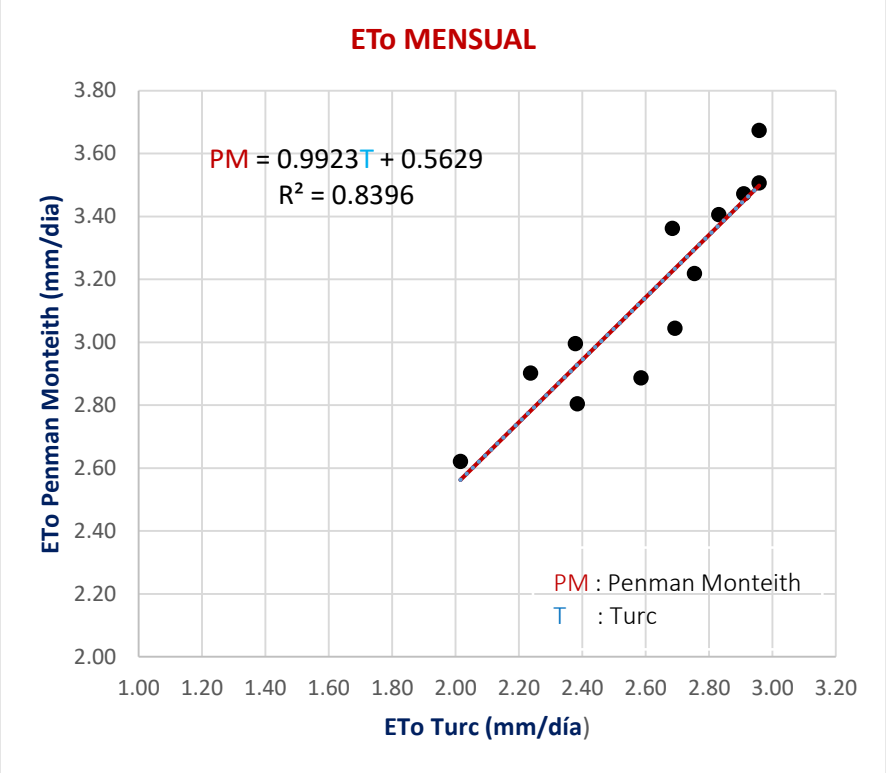


TABLA 43. Evapotranspiración de Referencia método Penman Monteith, Turc, Turc Calibrado, periodo 2004-2013

			ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
ETo	**Penman Monteith**	(mm/día)	3.41	3.00	2.62	2.80	2.89	3.04	3.22	3.47	3.67	3.51	3.36	2.90
ETo	**Turc**	(mm/día)	2.43	1.94	1.71	2.02	2.58	2.69	2.75	2.91	2.96	2.71	2.55	1.99
ETo	**Turc Calibrado**	(mm/día)	3.15	2.84	2.70	2.89	3.25	3.32	3.36	3.46	3.49	3.33	3.23	2.87

Elaboración propia.

TABLA 44. Resultados de la ecuación de correlación de Penman Monteith y Turc mediante el siguiente modelo lineal ETo(PM) = B0+ B1*ETo(T), periodo: 2004-2013

Periodo	B0	B1	R^2	r	r (%)	
2004-2013	0.563	0.992	0.8396	0.9163	91.63%	EXCELENTE

Elaboración propia

4.2. Discusiones

- La evapotranspiración de referencia promedio diario para el periodo hidrológico 2004-2013 de la estación Mina tiene un rango de correlación excelente (0.90 – 1.00), bueno (0.80 – 0.90) entre la ecuación estándar de Penman Monteith y Hargreaves.

- La evapotranspiración de referencia promedio diario para el periodo hidrológico 2004-2013 de la estación Mina tiene un rango de correlación excelente (0.90 – 1.00) y bueno (0.80 – 0.90) entre la ecuación estándar de Penman Monteith y Turc.

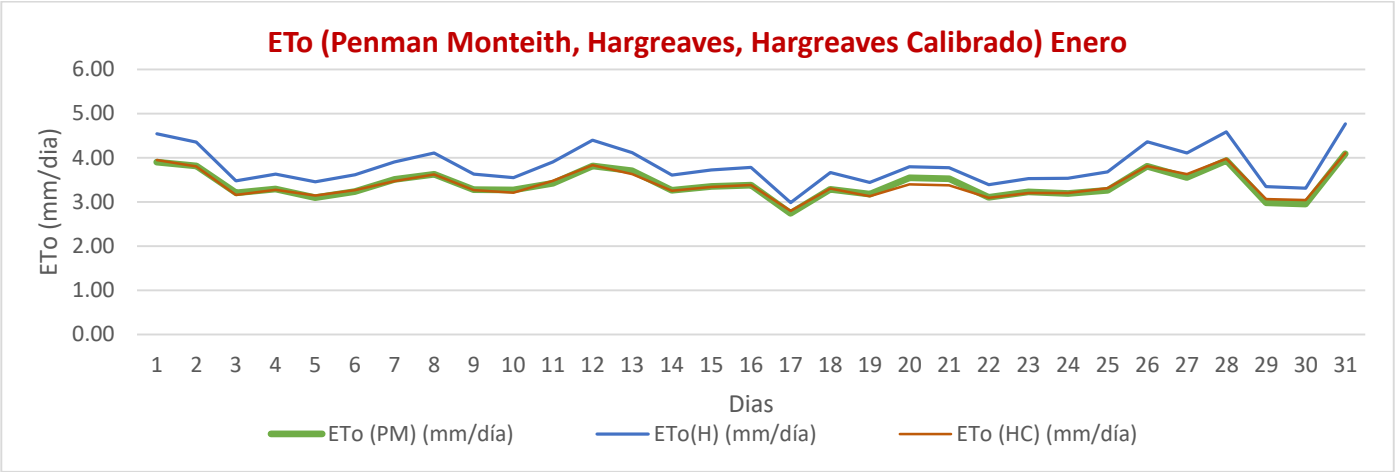
- El comportamiento de los resultados de la evapotranspiración de referencia diaria (ETo) estimados aplicando la ecuación estándar de la FAO Penman-Monteith, Hargreaves y Hargreaves Calibrado, en la cual se observa una buena correlación. Figuras del 27 al 38

- El comportamiento de los resultados de la evapotranspiración de referencia diaria (ETo) estimados aplicando la ecuación estándar de la FAO Penman-Monteith, Turc y Turc Calibrado, en la cual se observa una buena correlación. Figuras del 38 al 50.

- El comportamiento de los resultados (ETo) mensual estimados aplicando la ecuación estándar de la FAO Penman-Monteith, Hargreaves, Hargreaves Calibrado, en la cual se observa una buena correlación. Figura 51

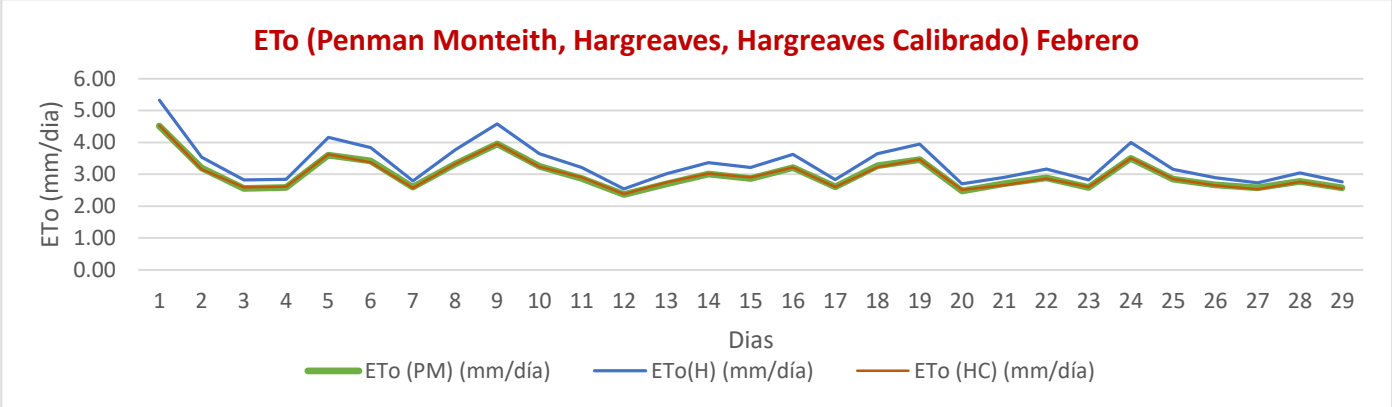
- El comportamiento de los resultados (ETo) mensual estimados aplicando la ecuación estándar de la FAO Penman-Monteith, Turc y Turc Calibrado en la cual se observa una buena correlación. Figura 52.

FIGURA 27. ETo (Penman Monteith, Hargreaves, Hargreaves Calibrado) diario del mes de Enero



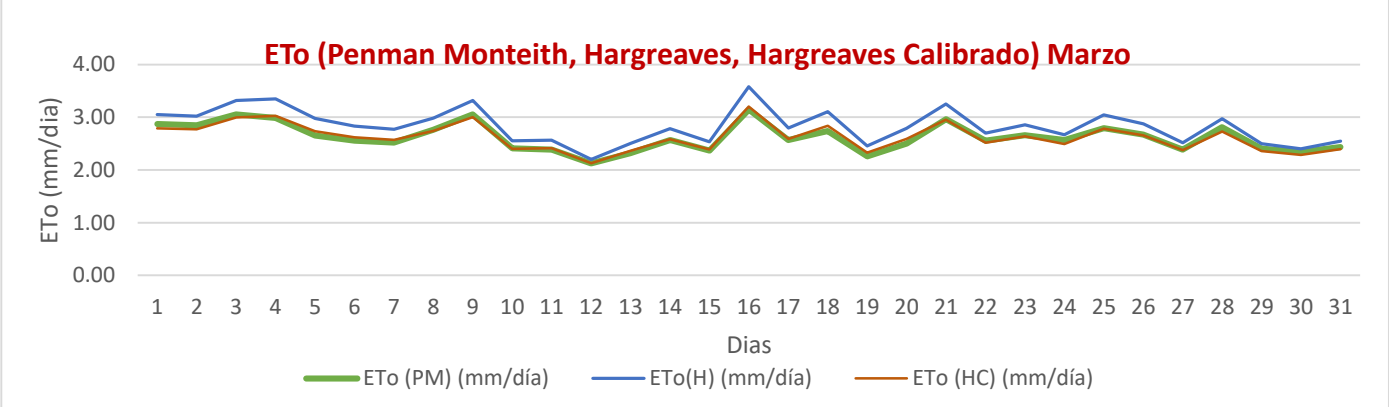
Se observa que la ETo (Hargreaves) es mayor a la ETo (Penman-Monteith), y el ETo Hargreaves calibrado con el modelo es similar al valor estimado con el método de la ETo (Penman-Monteith).

FIGURA 28. ETo (Penman Monteith, Hargreaves, Hargreaves Calibrado) diario del mes de Febrero



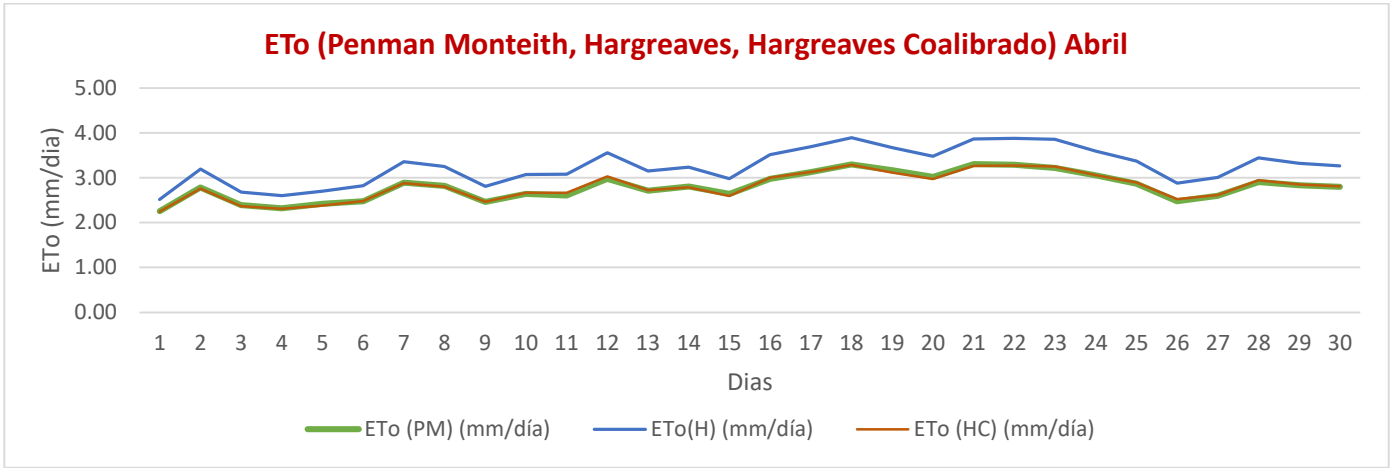
Se observa que la ETo (Hargreaves) es mayor a la ETo (Penman-Monteith), y el ETo Hargreaves calibrado con el modelo es similar al valor estimado con el método de la ETo (Penman-Monteith).

FIGURA 29. ETo (Penman Monteith, Hargreaves, Hargreaves Calibrado) diario del mes de Marzo



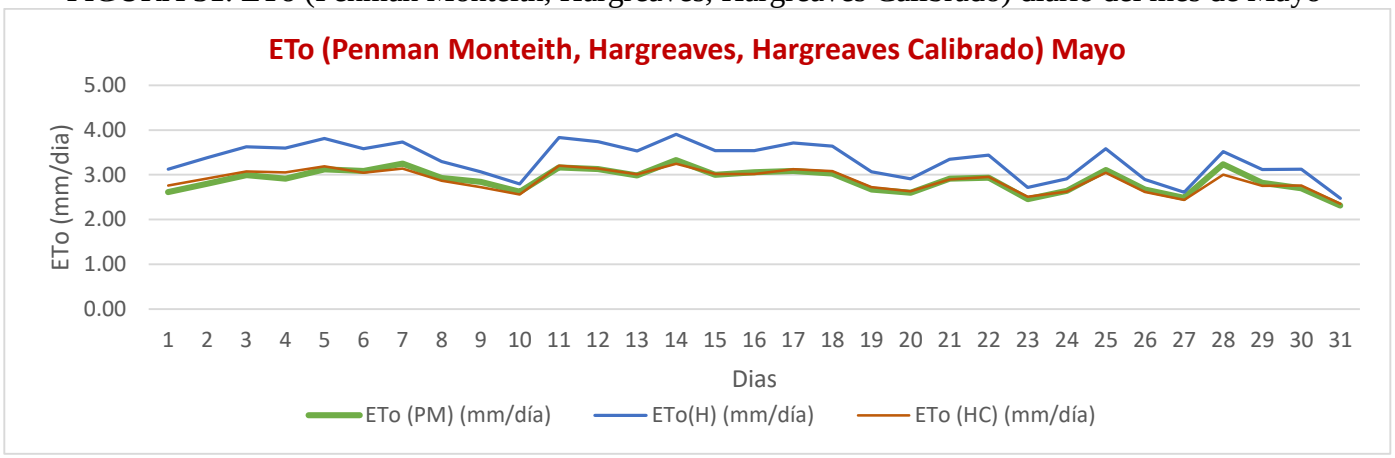
Se observa que la ETo (Hargreaves) es mayor a la ETo (Penman-Monteith), y el ETo Hargreaves calibrado con el modelo es similar al valor estimado con el método de la ETo (Penman-Monteith).

FIGURA 30. ETo (Penman Monteith, Hargreaves, Hargreaves Calibrado) diario del mes de Abril



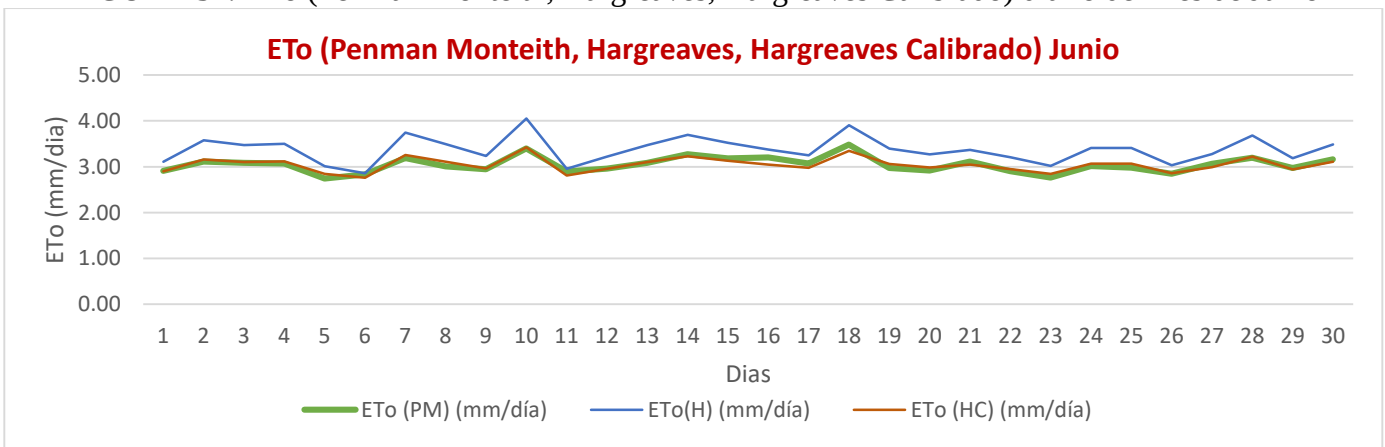
Se observa que la ETo (Hargreaves) es mayor a la ETo (Penman-Monteith), y el ETo Hargreaves calibrado con el modelo es similar al valor estimado con el método de la ETo (Penman-Monteith).

FIGURA 31. ETo (Penman Monteith, Hargreaves, Hargreaves Calibrado) diario del mes de Mayo



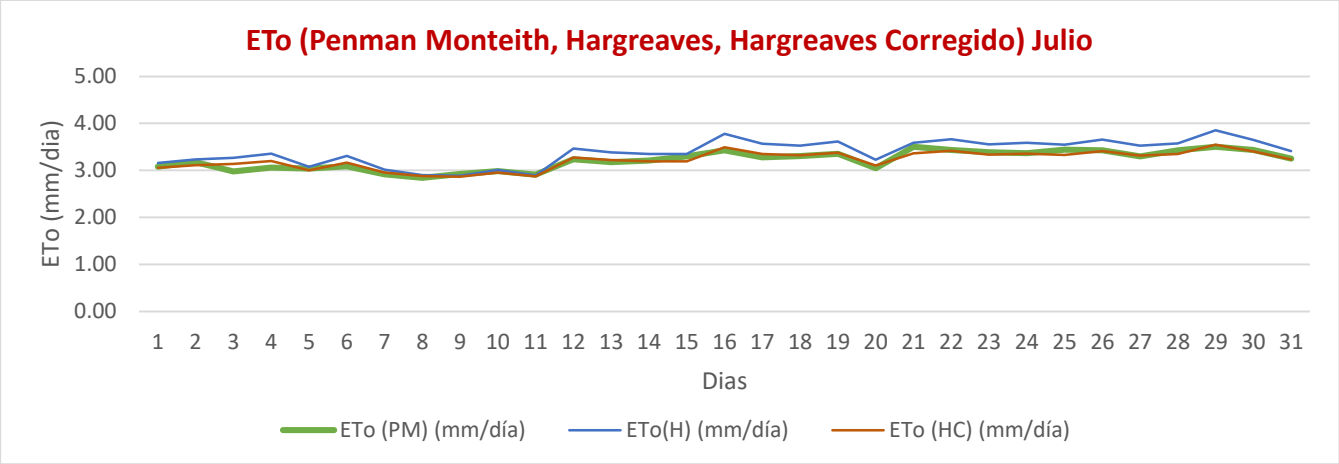
Se observa que la ETo (Hargreaves) es mayor a la ETo (Penman-Monteith), y el ETo Hargreaves calibrado con el modelo es similar al valor estimado con el método de la ETo (Penman-Monteith).

FIGURA 32. ETo (Penman Monteith, Hargreaves, Hargreaves Calibrado) diario del mes de Junio



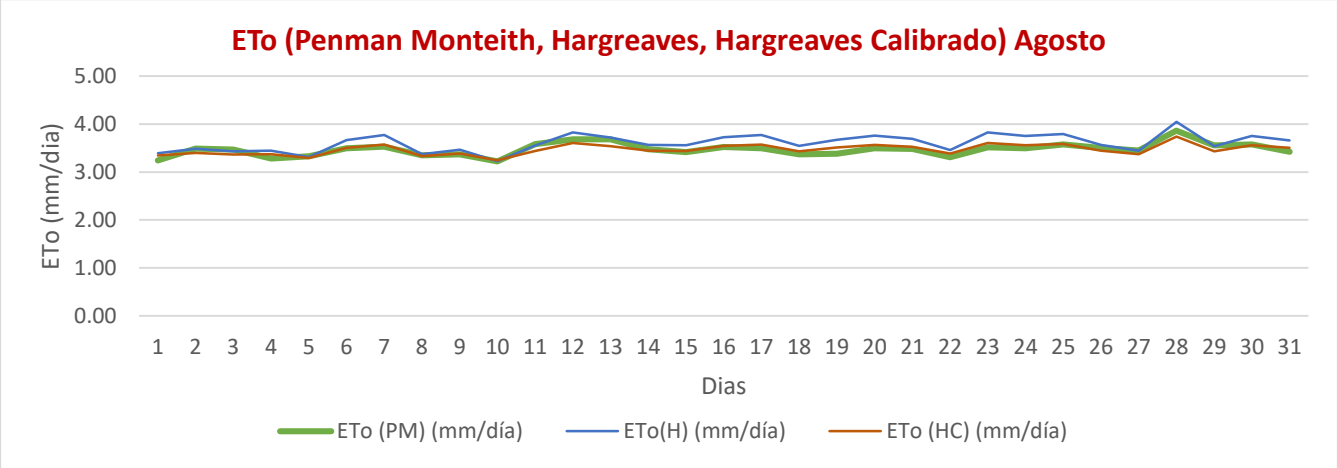
Se observa que la ETo (Hargreaves) es mayor a la ETo (Penman-Monteith), y el ETo Hargreaves calibrado con el modelo es similar al valor estimado con el método de la ETo (Penman-Monteith).

FIGURA 33. ETo (Penman Monteith, Hargreaves, Hargreaves Calibrado) diario del mes de Julio



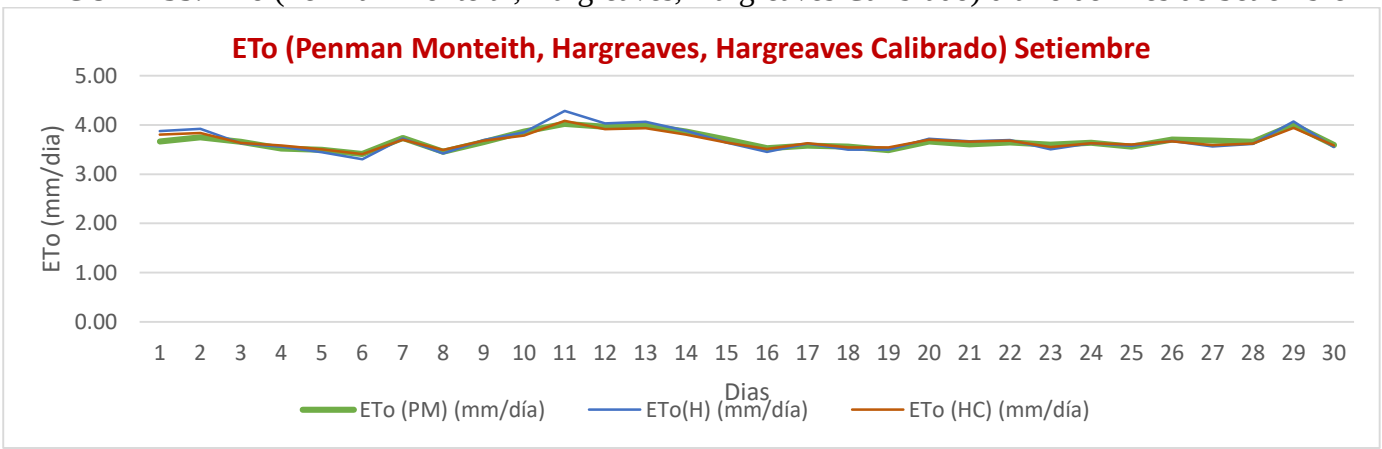
Se observa que la ETo (Hargreaves) es mayor a la ETo (Penman-Monteith), y el ETo Hargreaves calibrado con el modelo es similar al valor estimado con el método de la ETo (Penman-Monteith).

FIGURA 34. ETo (Penman Monteith, Hargreaves, Hargreaves Calibrado) diario del mes de Agosto



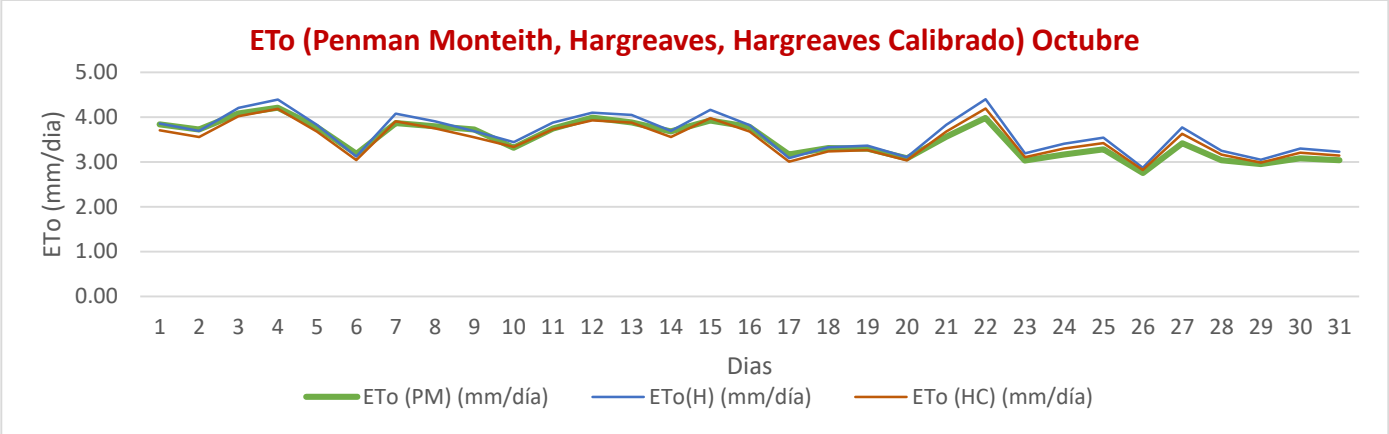
Se observa que la ETo (Hargreaves) es mayor a la ETo (Penman-Monteith), y el ETo Hargreaves calibrado con el modelo es similar al valor estimado con el método de la ETo (Penman-Monteith).

FIGURA 35. ETo (Penman Monteith, Hargreaves, Hargreaves Calibrado) diario del mes de Setiembre



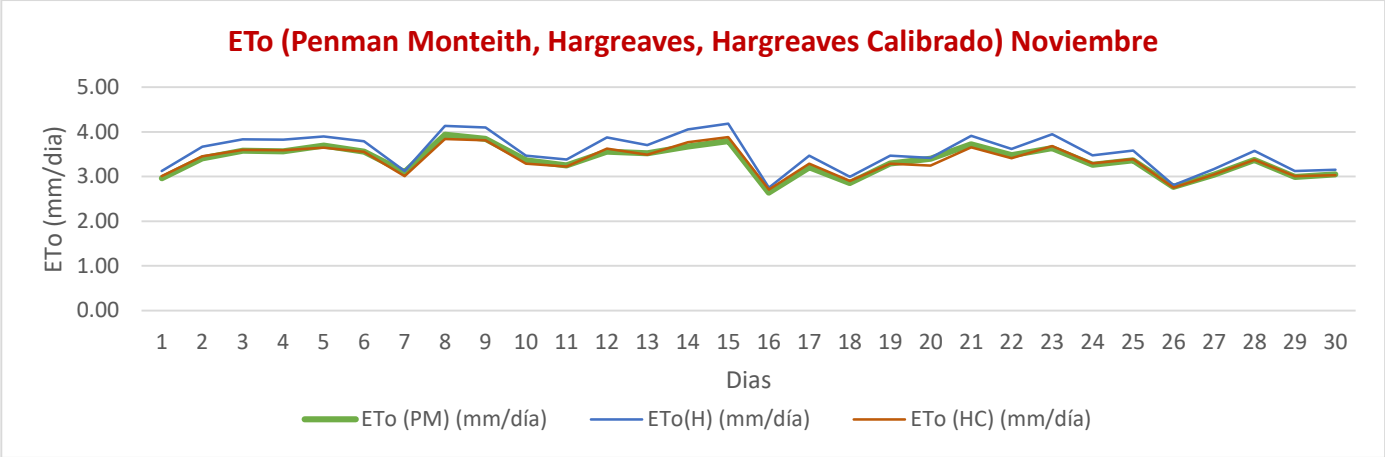
Se observa que la ETo (Hargreaves) es mayor a la ETo (Penman-Monteith), y el ETo Hargreaves calibrado con el modelo es similar al valor estimado con el método de la ETo (Penman-Monteith).

FIGURA 36. ETo (Penman Monteith, Hargreaves, Hargreaves Calibrado) diario del mes de Octubre



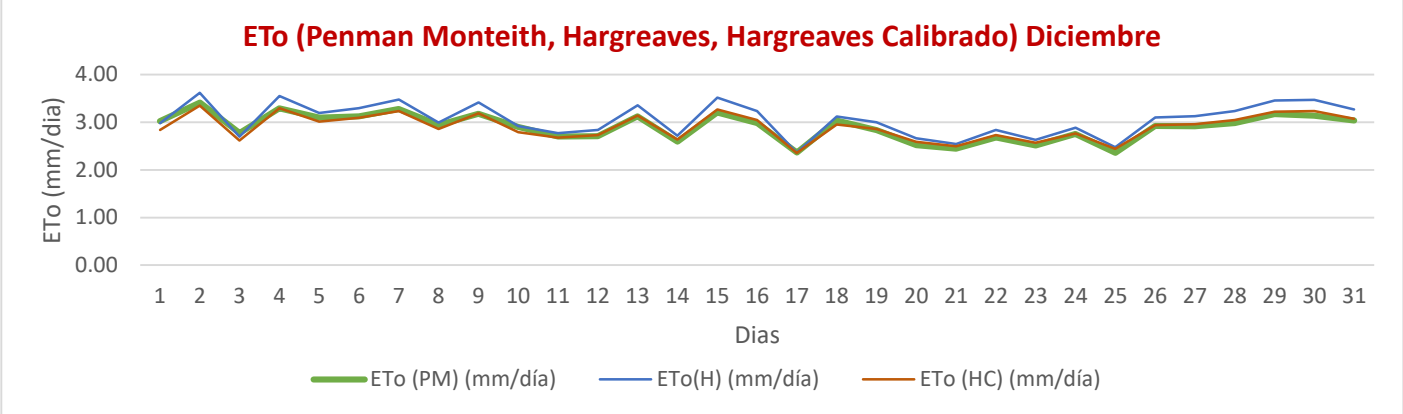
Se observa que la ETo (Hargreaves) es mayor a la ETo (Penman-Monteith), y el ETo Hargreaves calibrado con el modelo es similar al valor estimado con el método de la ETo (Penman-Monteith).

FIGURA 37. ETo (Penman Monteith, Hargreaves, Hargreaves Calibrado) diario del mes de Noviembre



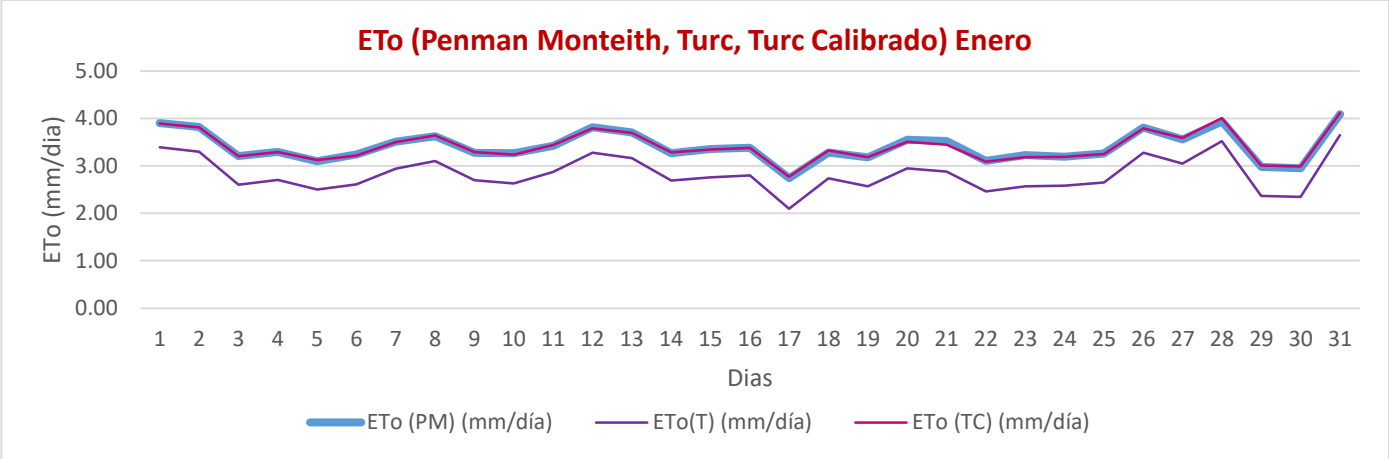
Se observa que la ETo (Hargreaves) es mayor a la ETo (Penman-Monteith), y el ETo Hargreaves calibrado con el modelo es similar al valor estimado con el método de la ETo (Penman-Monteith).

FIGURA 38. ETo (Penman Monteith, Hargreaves, Hargreaves Calibrado) diario del mes de Diciembre



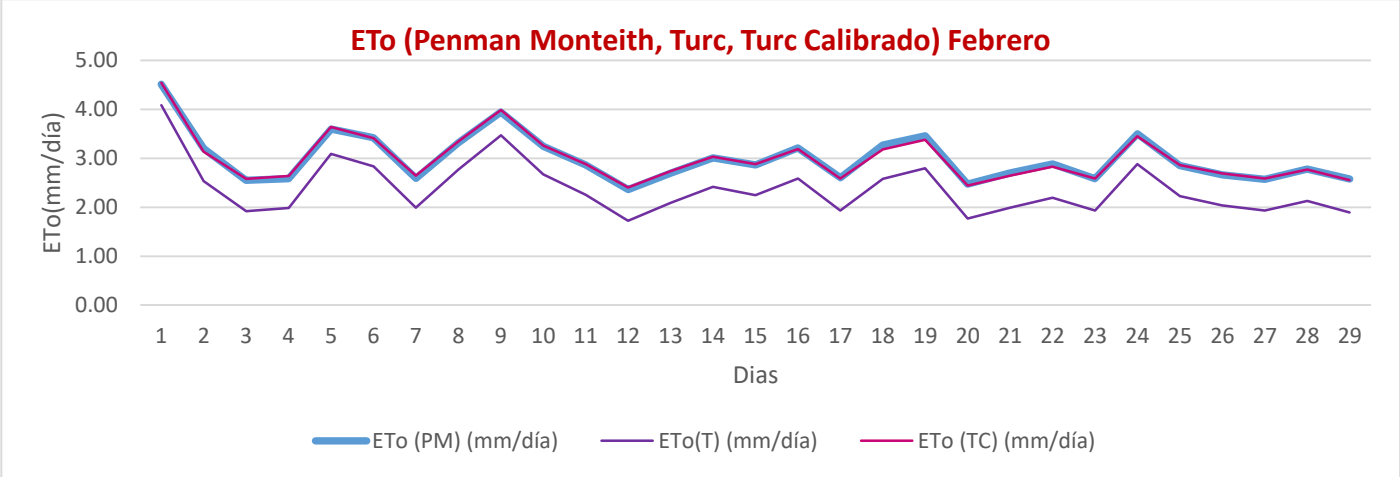
Se observa que la ETo (Hargreaves) es mayor a la ETo (Penman-Monteith), y el ETo Hargreaves calibrado con el modelo es similar al valor estimado con el método de la ETo (Penman-Monteith).

FIGURA 39. ETo (Penman Monteith, Turc, Turc Calibrado) diario del mes de Enero



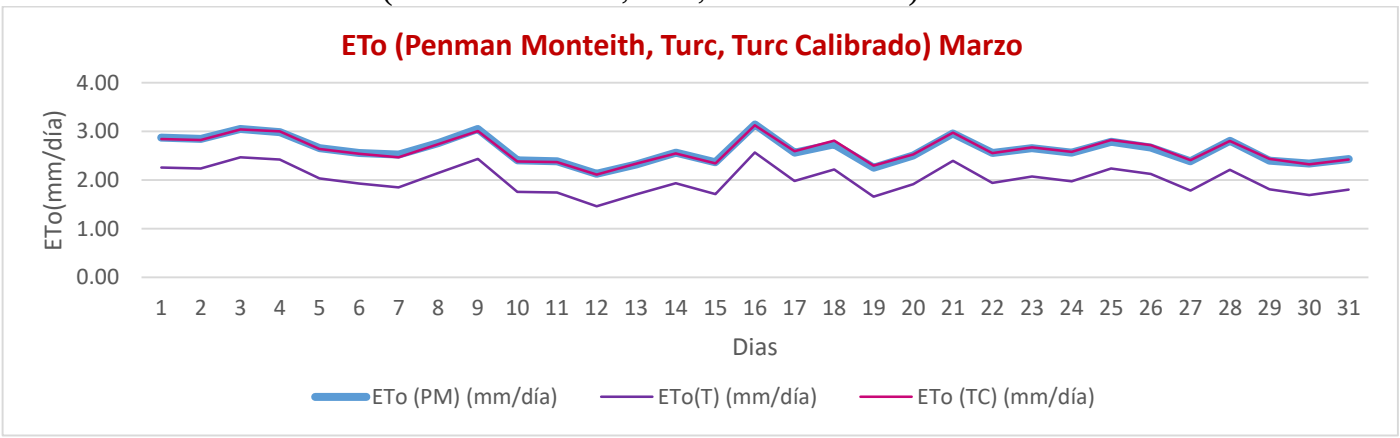
Se observa que la ETo (Turc) es menor a la ETo (Penman-Monteith), y el ETo Turc calibrado con el modelo es similar al valor estimado con el método de la ETo (Penman-Monteith).

FIGURA 40. ETo (Penman Monteith, Turc, Turc Calibrado) diario del mes de Febrero



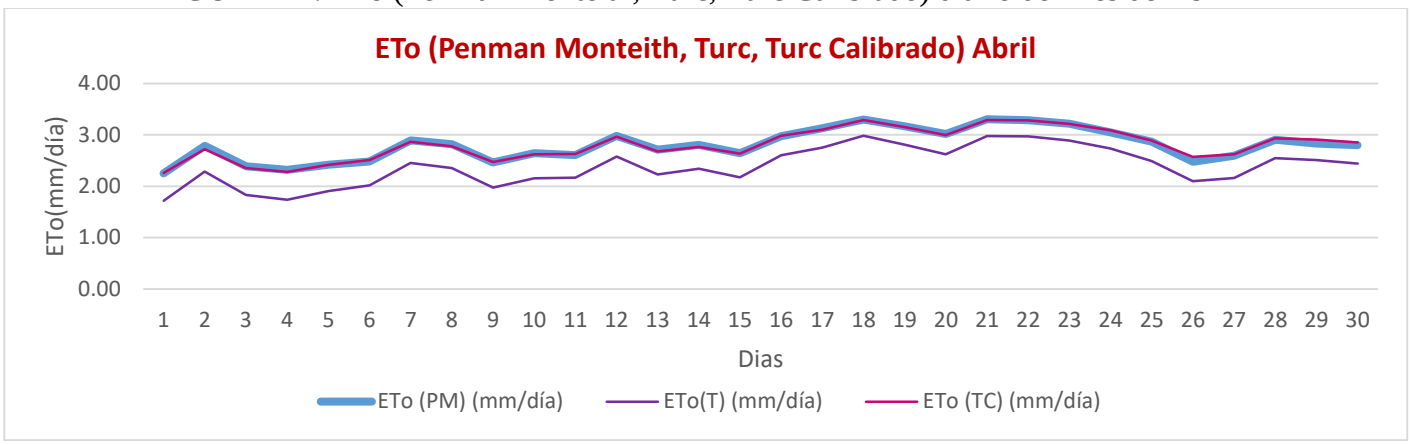
Se observa que la ETo (Turc) es menor a la ETo (Penman-Monteith), y el ETo Turc calibrado con el modelo es similar al valor estimado con el método de la ETo (Penman-Monteith).

FIGURA 41. ETo (Penman Monteith, Turc, Turc Calibrado) diario del mes de Marzo



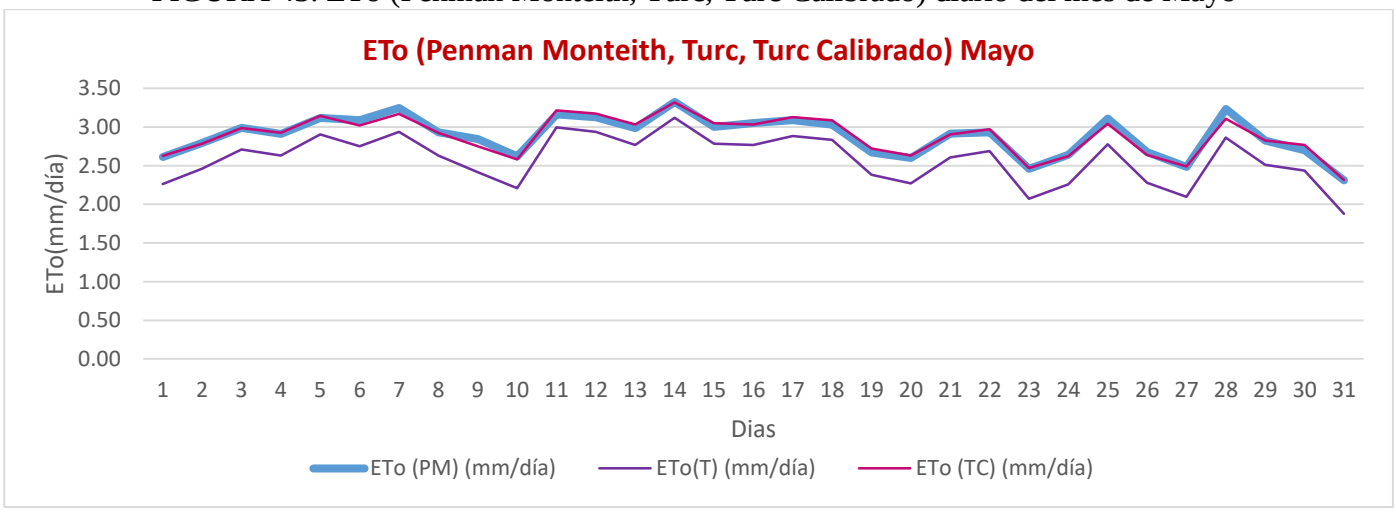
Se observa que la ETo (Turc) es menor a la ETo (Penman-Monteith), y el ETo Turc calibrado con el modelo es similar al valor estimado con el método de la ETo (Penman-Monteith).

FIGURA 42. ETo (Penman Monteith, Turc, Turc Calibrado) diario del mes de Abril



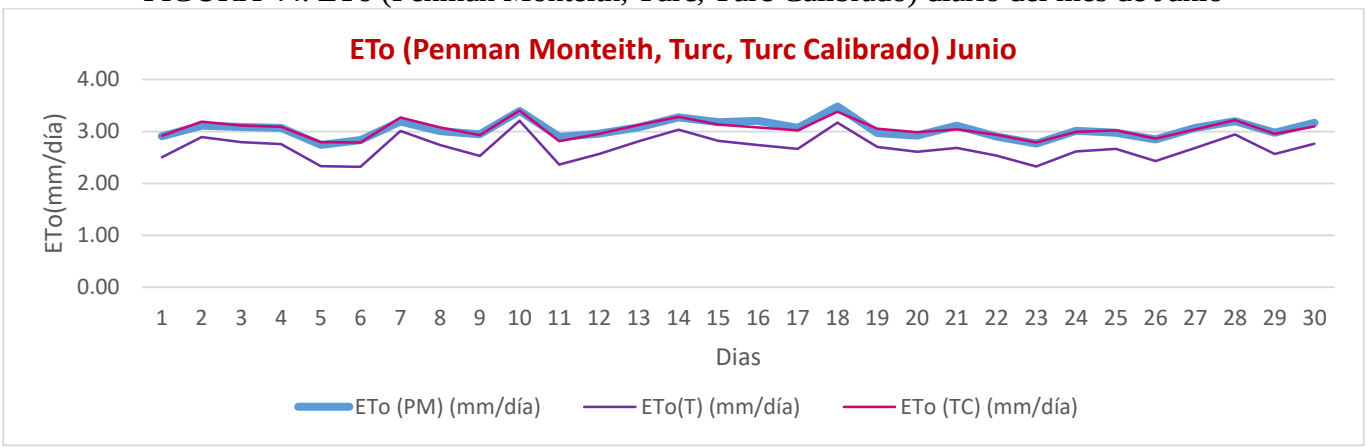
Se observa que la ETo (Turc) es menor a la ETo (Penman-Monteith), y el ETo Turc calibrado con el modelo es similar al valor estimado con el método de la ETo (Penman-Monteith).

FIGURA 43. ETo (Penman Monteith, Turc, Turc Calibrado) diario del mes de Mayo



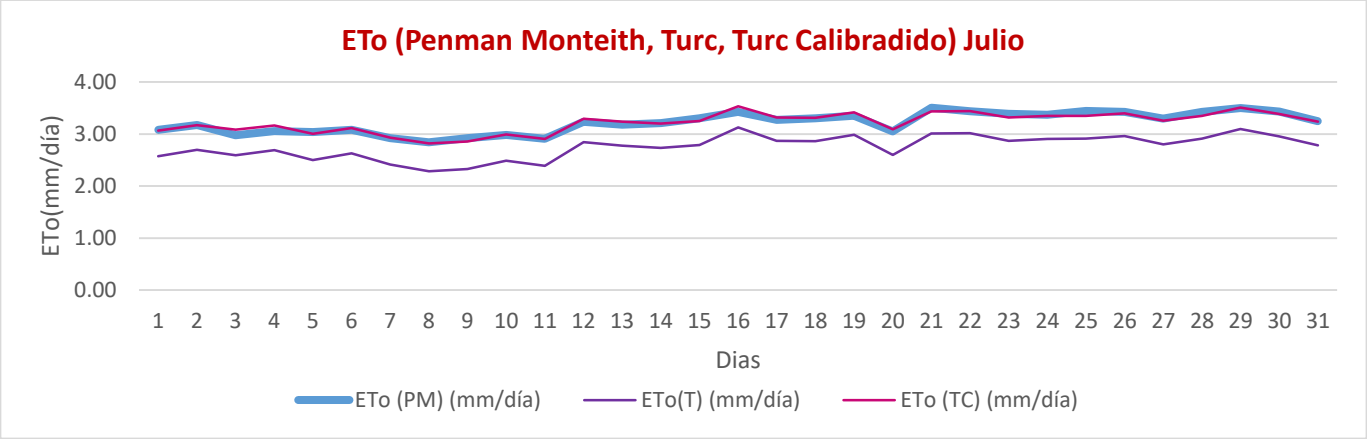
Se observa que la ETo (Turc) es menor a la ETo (Penman-Monteith), y el ETo Turc calibrado con el modelo es similar al valor estimado con el método de la ETo (Penman-Monteith).

FIGURA 44. ETo (Penman Monteith, Turc, Turc Calibrado) diario del mes de Junio



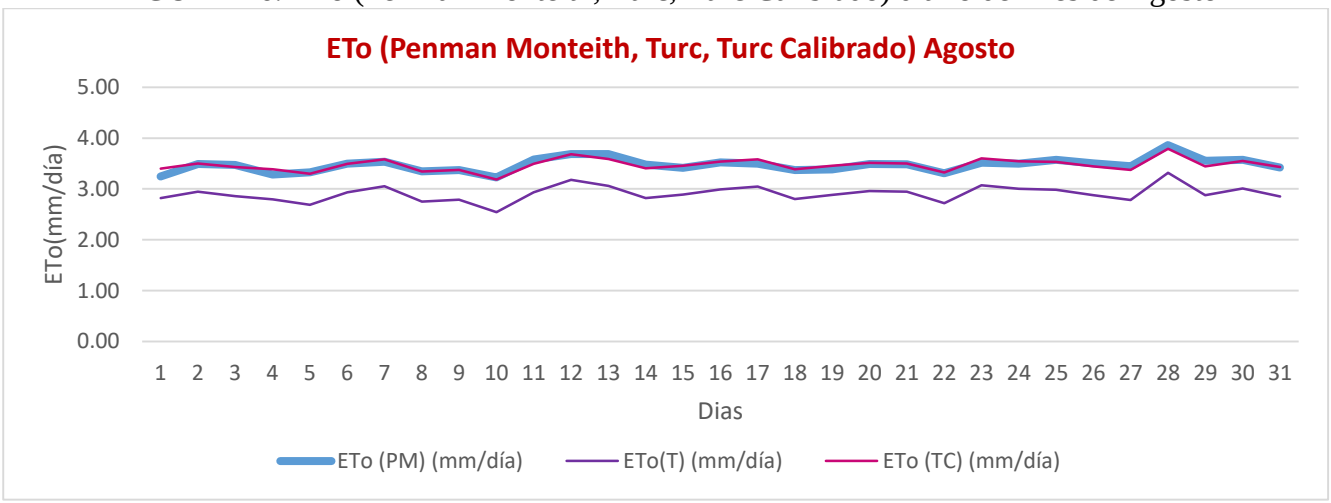
Se observa que la ETo (Turc) es menor a la ETo (Penman-Monteith), y el ETo Turc calibrado con el modelo es similar al valor estimado con el método de la ETo (Penman-Monteith).

FIGURA 45. ETo (Penman Monteith, Turc, Turc Calibrado) diario del mes de Julio



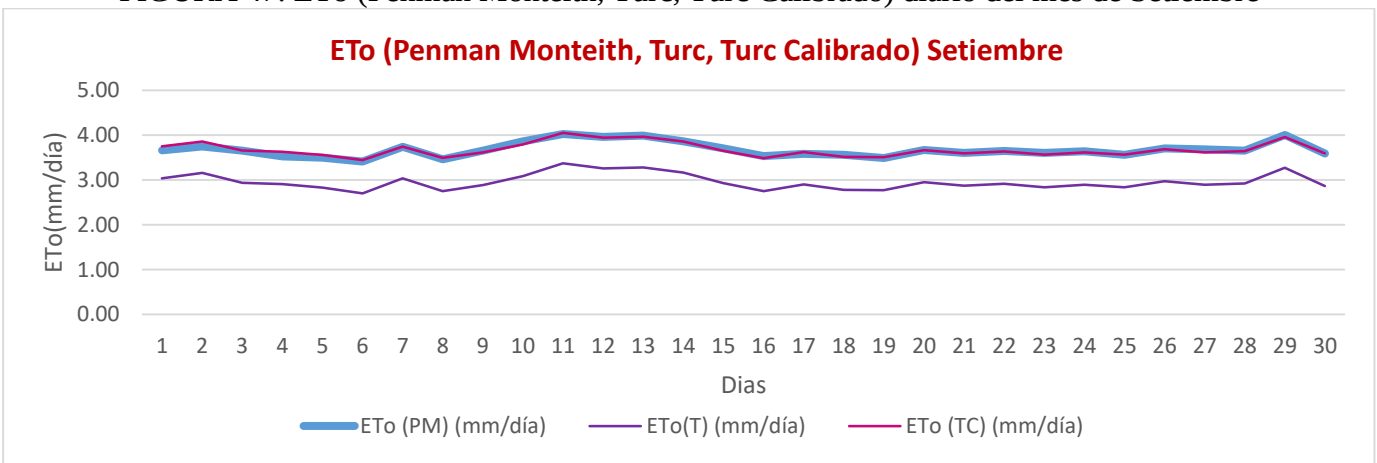
Se observa que la ETo (Turc) es menor a la ETo (Penman-Monteith), y el ETo Turc calibrado con el modelo es similar al valor estimado con el método de la ETo (Penman-Monteith).

FIGURA 46. ETo (Penman Monteith, Turc, Turc Calibrado) diario del mes de Agosto



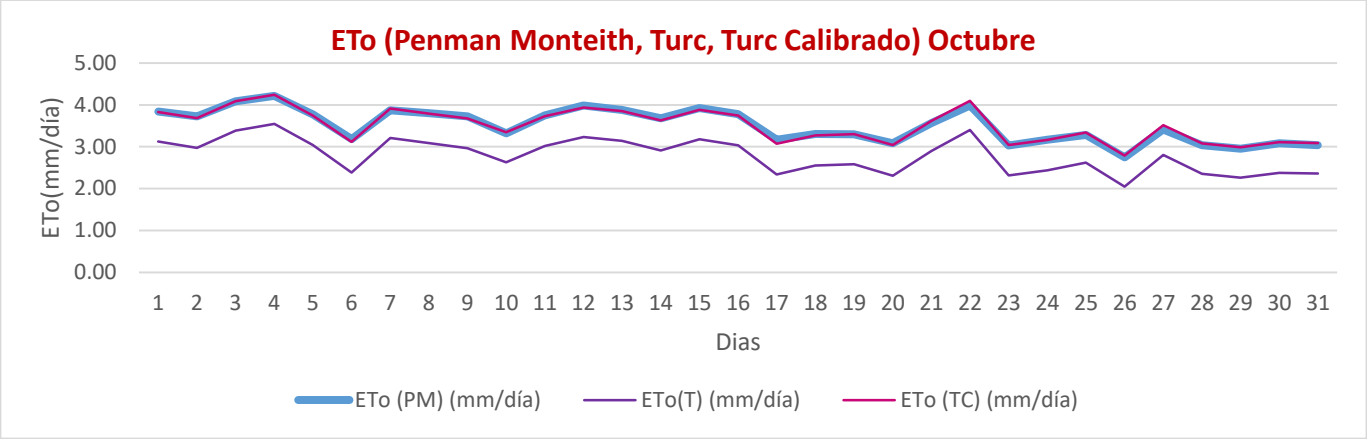
Se observa que la ETo (Turc) es menor a la ETo (Penman-Monteith), y el ETo Turc calibrado con el modelo es similar al valor estimado con el método de la ETo (Penman-Monteith).

FIGURA 47. ETo (Penman Monteith, Turc, Turc Calibrado) diario del mes de Setiembre



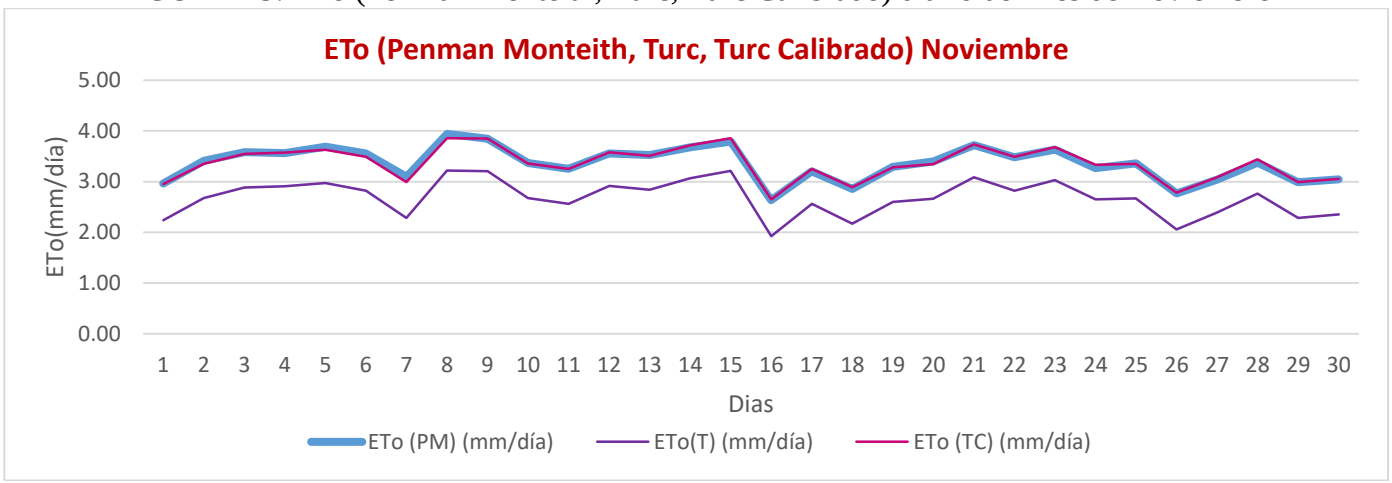
Se observa que la ETo (Turc) es menor a la ETo (Penman-Monteith), y el ETo Turc calibrado con el modelo es similar al valor estimado con el método de la ETo (Penman-Monteith).

FIGURA 48. ETo (Penman Monteith, Turc, Turc Calibrado) diario del mes de Octubre



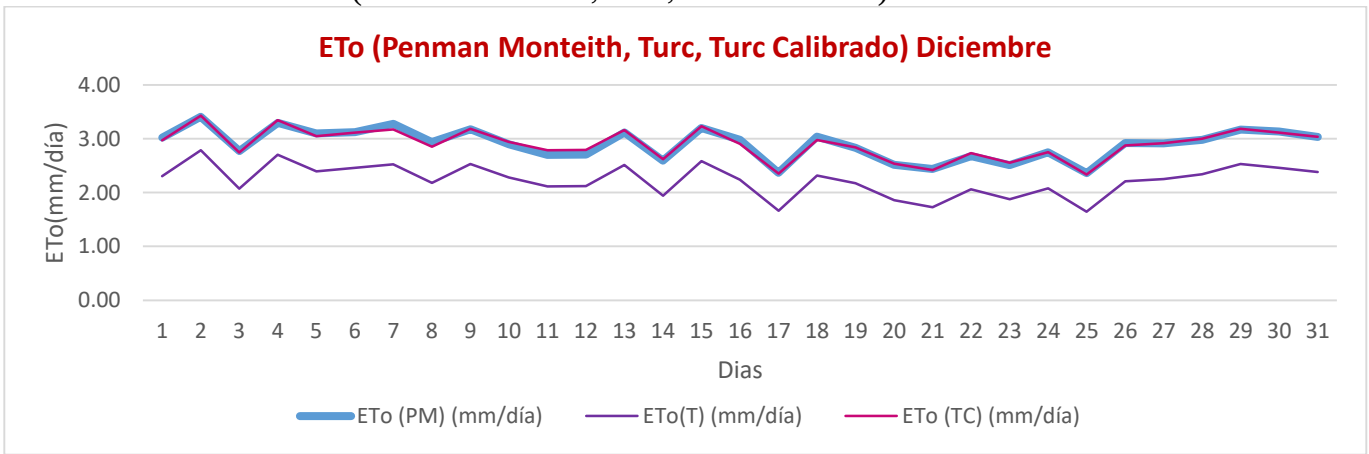
Se observa que la ETo (Turc) es menor a la ETo (Penman-Monteith), y el ETo Turc calibrado con el modelo es similar al valor estimado con el método de la ETo (Penman-Monteith).

FIGURA 49. ETo (Penman Monteith, Turc, Turc Calibrado) diario del mes de Noviembre



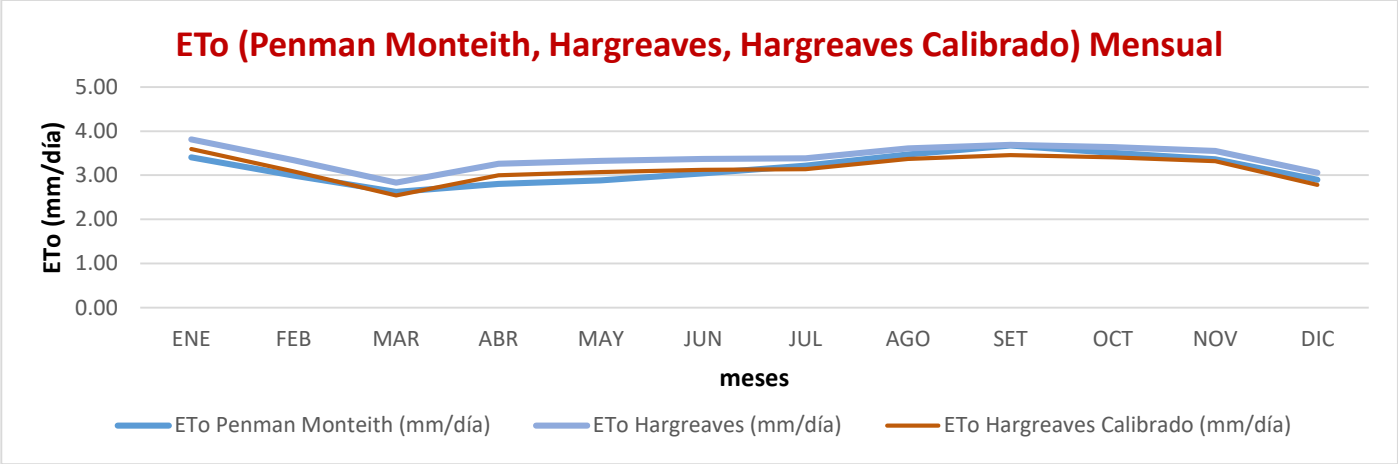
Se observa que la ETo (Turc) es menor a la ETo (Penman-Monteith), y el ETo Turc calibrado con el modelo es similar al valor estimado con el método de la ETo (Penman-Monteith).

FIGURA 50. ETo (Penman Monteith, Turc, Turc Calibrado) diario del mes de Diciembre



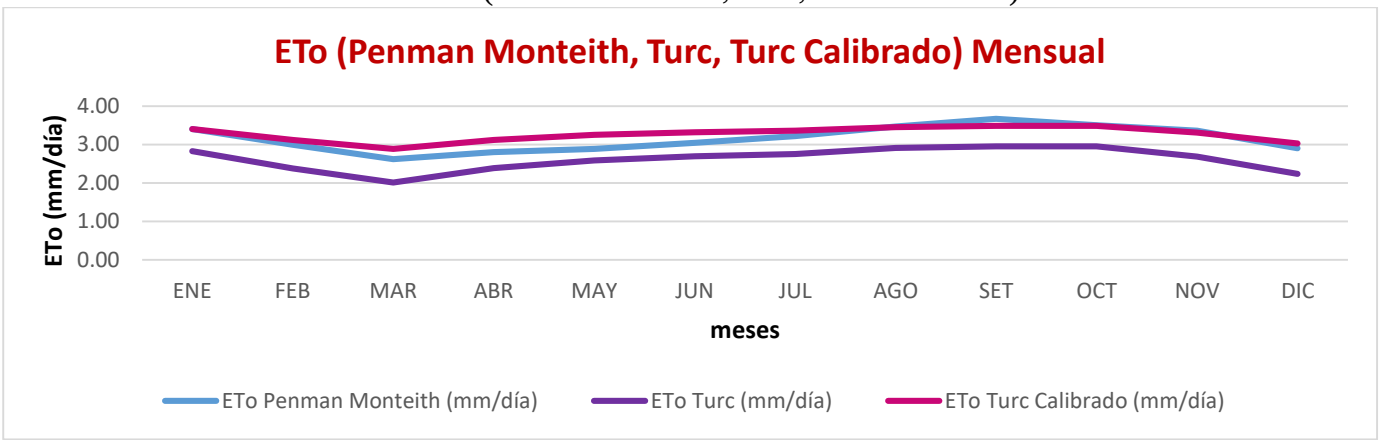
Se observa que la ETo (Turc) es menor a la ETo (Penman-Monteith), y el ETo Turc calibrado con el modelo es similar al valor estimado con el método de la ETo (Penman-Monteith).

FIGURA 51. ETo (Penman Monteith, Hargreaves, Hargreaves Calibrado) Mensual



Se observa que la ETo (Turc) es menor a la ETo (Penman-Monteith), y el ETo Turc calibrado con el modelo es similar al valor estimado con el método de la ETo (Penman-Monteith).

FIGURA 52. ETo (Penman Monteith, Turc, Turc Calibrado) Mensual



Se observa que la ETo (Turc) es menor a la ETo (Penman-Monteith), y el ETo Turc calibrado con el modelo es similar al valor estimado con el método de la ETo (Penman-Monteith).

CAPITULO V

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Se realizó el tratamiento de variables climatológicas de la estación meteorológica Mina proporcionando un total de 306,600 de datos horarios entre Temperatura Máxima, Temperatura Mínima, Humedad Relativa Máxima, Humedad Relativa Mínima, Velocidad del Viento, Radiación Solar.

- Se procesó la información la información meteorológica para la estimación de la evapotranspiración de referencia por las ecuaciones de Penman Monteith (FAO), Hargreaves, Turc en el sector de Mataquita-Jangas-Huaraz.

- Se validó los resultados de la ETo diario y mensual por la ecuación estándar de la FAO Penman-Monteith y la ecuación de Hargreaves, se midió el grado de correlación aplicando el método lineal simple. Los modelos son:

  Mensual

  Enero ETo (PM) = 0.6686 + 0.7239 * ETo (H)

  Febrero ETo (PM) = 0.5027 + 0.7514 * ETo (H)

  Marzo ETo (PM) = 0.5118 + 0.9232 * ETo (H)

  Abril ETo (PM) = 0.3835 + 0.8093 * ETo (H)

  Mayo ETo (PM) = 1.2855 + 0.6135 * ETo (H)

  Junio ETo (PM) = 0.6422 + 0.8320 * ETo (H)

  Julio ETo (PM) = 0.7299 + 0.8304 * ETo (H)

  Agosto ETo (PM) = 0.6916 + 0.5212 * ETo (H)

  Setiembre ETo (PM) = 0.6451 + 0.6812 * ETo (H)

Octubre ETo (PM) = 0.8593 + 0.7800 * ETo (H)

Noviembre ETo (PM) = 0.4257 + 0.8399 * ETo (H)

Diciembre ETo (PM) = 0.6393 + 0.7486 * ETo (H)

Anual 2004 - 2013

ETo (PM) = – 0.4844 + 1.0696 * ETo (H)

- Se validó los resultados de la ETo diario y mensual por la ecuación estándar de la FAO Penman-Monteith entre la ecuación de Turc, se midió el grado de correlación aplicando el método lineal simple. Los modelos son:

Mensual

Enero ETo (PM) = 1.3015 + 0.8703 * ETo (T)

Febrero ETo (PM) = 1.0908 + 0.9848 * ETo (T)

Marzo ETo (PM) = 1.0815 + 0.9451 * ETo (T)

Abril ETo (PM) = 1.1865 + 0.8981 * ETo (T)

Mayo ETo (PM) = 1.2988 + 0.7869 * ETo (T)

Junio ETo (PM) = 1.6133 + 0.6683 * ETo (T)

Julio ETo (PM) = 1.5252 + 0.7099 * ETo (T)

Agosto ETo (PM) = 1.5060 + 0.7259 * ETo (T)

Setiembre ETo (PM) = 1.3960 + 0.7783 * ETo (T)

Octubre ETo (PM) = 1.3697 + 0.8303 * ETo (T)

Noviembre ETo (PM) = 1.3639 + 0.8183 * ETo (T)

Diciembre ETo (PM) = 1.2397 + 0.8766 * ETo (T)

Anual 2004 – 2013

ETo (PM) = 0.5629 + 0.9923 * ETo (T)

5.2. Recomendaciones

- Se recomienda continuar con el desarrollo de modelos para la estimación de la Evapotranspiración de Referencia por diferentes métodos empíricos tales como Ivanov, Jensen-Haise, Priestley-Taylor, entre otros, respecto a la ecuación estándar de la Food and Agriculture Organization (FAO) Penman Monteith en otras zonas con características fisiográficas similares y climatológicas diferentes.
- Realizar un análisis comparativo del ETo, de forma mensual, siendo el estudio longitudinal (Comparativo),

CAPITULO VI

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ÁGUEDA R. (2014). "Estimación de la evapotranspiración de referencia – Sub cuenca alta del Altamayo – Año hidrológico 2012-2013". (tesis para obtener el título de ingeniero agrícola). Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. Huaraz-Perú. (p.1)

- ALLEN R., PEREIRA L., SMITH M., & RAES D. (1998). Crop evapotranspiración - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage. paper 56. FAO - Food and Agriculture Organization of the United.
  Disponible: https://appgeodb.nancy.inra.fr/biljou/pdf/Allen_FAO1998.pdf. (2016, 19 de Mayo).

- BATISTA J. M. Y COENDERS, G. (2000). "Modelos de ecuaciones estructurales". Cuadernos de estadística, 6. La Muralla, Madrid.
  Disponible: http://www.uv.es/asepuma/X/C29C.pdf. (2016, 18 DE Mayo). (p. 68).

- BOCHETTI M. (2010). "Análisis comparativo de la evapotranspiración obtenida mediante distintas ecuaciones empíricas aplicadas a la zona agrícola de chillan". (tesis para obtener el título). Universidad Católica De La Santísima Concepción. Concepción.
  Disponible: http://civil.ucsc.cl/investigacion/memorias/mbochetti.pdf. (2016, 20 de Mayo). (p.2).

- CABRERA J. (2011). "Calibración de Modelos Hidrológicos". Universidad Nacional de Ingeniería. Lima Perú.
  Disponible: http://www.imefen.uni.edu.pe/Temas_interes/modhidro_2.pdf. (15 de Mayo). (p. 4).

- CORDOVA M. (2008). "Estadística Descriptiva e Inferencial Aplicaciones". Editorial Moshera S.R.L. Lima-Perú (p.488).

- HAWKING S. Y MLODINOV L. (2010). "El gran diseño". Barcelona-España. Editorial Crítica.
  Disponible:https://resistenciacivilylibrepensadores.wordpress.com/2012/02/07/el-gran-diseno-stephen-hawking-y-leonard-mlodinow-2010/.(2016, 20 de Mayo). (p.2).

- LÓPEZ. M. L. (2011). "Análisis de los métodos de estimación de evaporación y evapotranspiración a las condiciones locales de la ciudad de córdoba". (Tesis de maestría). Universidad Nacional De La Pampa. Santa Rosa, La Pampa. Disponible:http://www.biblioteca.unlpam.edu.ar/rdata/tespo/r_lopana441.pdf .(2016, 2 de junio (p. 1).

- REYES E. (2008). **"**Estimación de la evapotranspiración para la zona agrícola de la sub cuenca del rio Quillcay". (tesis de maestria). Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. Huaraz-Perú.

- VILLON M. (2002). "Hidrología Estadística". Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Ingeniería Agrícola. Edición N°02 editorial villon. Lima. Perú. (p.224-231).

CAPITULO VII

7. ANEXO

Plano de Ubicación (PU-01).