

ESCUELA MILITAR DE INGENIERÍA
MCAL. ANTONIO JOSÉ DE SUCRE
BOLIVIA

TRABAJO DE GRADO



**EVALUACIÓN DE LAS VARIABLES HIDROLÓGICAS CALCULADAS
A PARTIR DE LA PROGRAMACIÓN EN PYTHON:
EVAPOTRANSPIRACIÓN, BALANCE HÍDRICO Y ESCORRENTÍA EN
EL PROYECTO “CONSTRUCCIÓN SISTEMA DE RIEGO PRESA
SULLKATITI TITIRI”**

DIANA CARLA CHOQUE CALLE

LA PAZ, 2020

**ESCUELA MILITAR DE INGENIERÍA
MCAL. ANTONIO JOSÉ DE SUCRE
BOLIVIA**

TRABAJO DE GRADO

**EVALUACIÓN DE LAS VARIABLES HIDROLÓGICAS CALCULADAS
A PARTIR DE LA PROGRAMACIÓN EN PYTHON:
EVAPOTRANSPIRACIÓN, BALANCE HÍDRICO Y ESCORRENTÍA EN
EL PROYECTO “CONSTRUCCIÓN SISTEMA DE RIEGO PRESA
SULLKATITI TITIRI”**

DIANA CARLA CHOQUE CALLE

**Modalidad: Proyecto de grado
presentado para obtener el
grado de licenciatura en
Ingeniería Civil.**

TUTOR: MSC. ING. HUGO SOLIZ FLORES

LA PAZ, 2020

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a:

Dios por darme la fortaleza en cada etapa de mi vida.

A mis amados padres quienes han sido un pilar fundamental y por su constante apoyo incondicional.

A mis hermanas y hermano que día a día me regalan una sonrisa, por compartir buenos y malos momentos.

AGRADECIMIENTOS

El Autor expresa sus agradecimientos:

- A: Dios, por permitirme llegar a este momento tan especial en mi vida. Por los triunfos y los momentos difíciles que me han enseñado a valorarlo cada día más.
- A: Mis queridos padres, quien a lo largo de toda su vida me apoyaron y motivaron mi formación académica, la tenacidad y lucha interminable ha hecho de ellos un gran ejemplo a seguir por mí y por mis hermanos, sin ellos jamás hubiera podido conseguir lo que hasta ahora tuve, gracias por todo su amor, los amo y siempre estaré agradecida con ustedes.
- A: Mis hermanas y hermano por su apoyo incondicional y estar junto a mí en los malos y buenos momentos.
- A: Mis abuelos, tías y tíos que desde pequeña me brindaron su apoyo incondicional y acompañarme en cada etapa de mi vida.
- A: La ESCUELA MILITAR DE INGENIERÍA, por la formación académica.
- A: Mi tutor Ing. Hugo Solíz Flores, por haberme guiado, enseñado y apoyado durante el desarrollo de este Trabajo de Grado.
- A: Mi Revisor Ing. Percy Flores Laura, por haberme brindado todo su tiempo, consejos y conocimiento para la realización de este Trabajo de Grado.
- A: Mi Revisor Ing. Freddy Camacho Villegas, por impartirme su conocimiento, sus consejos y apoyo para la realización de este Trabajo de Grado.
- A: Mi docente de Trabajo de Grado Cnl. Villarroel, por toda su ayuda y tiempo para el desarrollo de este Trabajo de Grado.
- A: Mis queridos docentes de todos los semestres por haberme brindado su conocimiento durante estos años de estudio.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

1.1	ANTECEDENTES.....	1
1.2	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	4
1.2.1	Identificación del Problema	4
1.2.2	Formulación del Problema.....	4
1.3	OBJETIVOS.....	5
1.3.1	Objetivo General.....	5
1.3.2	Objetivos Específicos	5
1.4	JUSTIFICACIÓN.....	6
1.4.1	Justificación Técnica.....	6
1.4.2	Justificación Económica	6
1.4.3	Justificación Social	6
1.4.4	Justificación Ambiental	7

CAPITULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1	HIDROLOGÍA	8
2.1.1	Ciclo Hidrológico.....	8
2.1.2	Cuenca Hidrográfica.....	9
2.1.3	Temperatura	17
2.1.4	Precipitación	18
2.1.5	Evapotranspiración	22
2.1.6	Escorrentía.....	27
2.1.7	Balance Hídrico	33

2.1.8	Métodos probabilísticos utilizados en hidrología	36
2.2	SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA	39
2.2.1	Definición	39
2.2.2	Origen	40
2.2.3	Alcances de un SIG	40
2.2.4	Funcionamiento de un SIG	41
2.2.5	Tipos de Formatos	41
2.2.6	Uso de los SIG en Ingeniería Civil	42
2.2.7	Herramientas Desarrolladas para Casos Específicos	42
2.3	PROGRAMACIÓN EN PYTHON	43
2.3.1	Python como lenguaje de script	43
2.3.2	Ventajas del Python	44
2.3.3	Construcción de programas	44

CAPÍTULO 3

INGENIERÍA DE PROYECTO

3.1	ANÁLISIS DE INFORMACIÓN	48
3.1.1	Cuenca	48
3.1.2	Hidrometeorología	58
3.2	CÁLCULO DE LAS VARIABLES MEDIANTE HIDROLOGÍA CLÁSICA	62
3.2.1	Probabilidad y Estadística de Información Pluviométrica	63
3.2.2	Evapotranspiración	69
3.2.3	Balance Hídrico	79
3.2.4	Escorrentía	81
3.3	PROGRAMACIÓN EN PYTHON	82
3.3.1	Algoritmo para el cálculo de variables hidrológicas	82
3.4	CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN, ESCORRENTÍA Y BALANCE HÍDRICO A TRAVÉS DE LA NUEVA HERRAMIENTA CREADA	86
3.5	COMPARACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	86
3.5.1	Aplicación de resultados al caso de estudio - estimación del volumen útil presa Sullkatiti Titiri	91

CAPITULO 4

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1	CONCLUSIONES	95
4.2	RECOMENDACIONES	96

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1.	TIPO DE TERRENO RESPECTO A LA PENDIENTE MEDIA DE LA CUENCA	13
TABLA 2.	CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS DE LA CUENCA	56
TABLA 3.	ESTACIONES CERCANAS A LA CUENCA	58
TABLA 4.	DISTANCIA DE LAS ESTACIONES CERCANAS AL ÁREA DE ESTUDIO	58
TABLA 5.	DATOS RELLENADOS DE PRECIPITACIÓN TOTAL (mm).....	61
TABLA 6.	PROBABILIDAD DE AÑOS SECOS, HÚMEDOS Y NORMALES.....	63
TABLA 7.	SERIE DE PRECIPITACIONES ORDENADO DE MENOR A MAYOR	66
TABLA 8.	CÁLCULO DE LA FRECUENCIA ACUMULADA	67
TABLA 9.	CÁLCULO DE LA FRECUENCIA ABSOLUTA.....	68
TABLA 10.	FACTOR DE CORRECCIÓN.....	69
TABLA 11.	CALCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN MEDIANTE EL MÉTODO DE THORNTHWAITE	70
TABLA 12.	INTERPOLACIÓN DEL FACTOR DE CORRECCIÓN.....	71
TABLA 14.	RESUMEN DEL CÁLCULO DE EVAPOTRANSPIRACIÓN MEDIANTE EL MÉTODO DE PENMAN MONTEITH.....	78
TABLA 15.	BALANCE HÍDRICO MEDIANTE EL MÉTODO DE THORNTHWAITE	79
TABLA 16.	ESCORRENTÍA AÑO HÚMEDO 1975	81
TABLA 18.	VARIABLES DEL MODELO POR EL MÉTODO DE PENMAN MONTEITH	83
TABLA 19.	VARIABLES DEL MODELO MEDIANTE EL MÉTODO DE THORNTHWAITE	84
TABLA 21.	VOLUMEN Y CAUDAL - AÑOS HÚMEDOS (1978-1979)	91
TABLA 22.	VOLUMEN Y CAUDAL - AÑOS SECOS (2008-2009-2010).....	92
TABLA 23.	VOLUMEN Y CAUDAL - AÑOS NORMALES (2011-2012-2013).....	93
TABLA 24.	DIAGRAMA DE MASAS PARA LA CORRELACIÓN DE DATOS	100
TABLA 25.	CORRELACIÓN DE DATOS	101
TABLA 26.	PRECIPITACIÓN TOTAL: ESTACIÓN TIWANAKU	102
TABLA 27.	TEMPERATURA MÁXIMA (°C)	104
TABLA 28.	TEMPERATURA MÍNIMA (°C)	105

TABLA 29.	TEMPERATURA MEDIA ($^{\circ}\text{C}$)	106
TABLA 30.	PRESIÓN ATMOSFÉRICA (P) PARA DIFERENTES ALTITUDES (Z)	107
TABLA 31.	CONSTANTE PSICROMÉTRICA (γ) PARA DIFERENTES ALTITUDES (z)...	108
TABLA 32.	PENDIENTE DE LA PRESIÓN DE VAPOR (Δ) PARA DIFERENTES TEMPERATURAS	109
TABLA 33.	PRESIÓN DE SATURACIÓN DE VAPOR ($e_0(T)$) PARA DIFERENTES TEMPERATURAS (T)	110
TABLA 34.	NUMERO DEL DIA EN EL AÑO (J)	111
TABLA 35.	LEY DE STEFAN-BOLTZMANN A DIFERENTES TEMPERATURAS (T)	114

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA 1. PRESA SULLKATITI TITIRI	3
FIGURA 2. EL CICLO HIDROLÓGICO	9
FIGURA 3. CUENCA, SUBCUENCA Y MICROCUENCA	10
FIGURA 4. ÍNDICE DE GRAVELIUS	12
FIGURA 5. CAMBIO DE FORMA DE LA CURVA HIPSOMÉTRICA CON LA EDAD DEL RIO	14
FIGURA 6. TRAZADO DE LOS POLÍGONOS DE THIESSEN	20
FIGURA 7. TRAZADO DE LAS CURVAS DE ISOYETAS	21
FIGURA 8. PROCESO DE EVAPOTRANSPIRACIÓN)	23
FIGURA 9. CURVA MASA O DE VOLÚMENES ACUMULADOS	29
FIGURA 10. CONSTRUCCIÓN CURVA MASA	31
FIGURA 11. CAUDAL SEGURO	32
FIGURA 12. CURVA DE DURACIÓN	33
FIGURA 13. BALANCE HÍDRICO	34
FIGURA 14. CÁLCULO DE LA RESERVA DE AGUA UTILIZADA (RAU)	35
FIGURA 15. CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL (ETR)	35
FIGURA 16. CÁLCULO DE EXCEDENCIA	36
FIGURA 17. FUNCIÓN DE DENSIDAD DE LA DISTRIBUCIÓN NORMAL	37
FIGURA 18. FUNCIÓN DE DENSIDAD DE LA DISTRIBUCIÓN GUMBEL	38
FIGURA 19. MODELO RÁSTER Y MODELO VECTORIAL	42
FIGURA 20. DIAGRAMA: ALCANCE DE OBJETIVOS ESPECÍFICOS	47
FIGURA 21. UBICACIÓN DE LA ZONA DEL PROYECTO	48
FIGURA 22. CAMINOS EXISTENTES CERCA AL ÁREA DE ESTUDIO	49
FIGURA 23. DELIMITACIÓN DE CUENCA CON ARCSWAT	50
FIGURA 24. UBICACIÓN DE LA CUENCA DEL ÁREA DE ESTUDIO	51
FIGURA 25. ÁREA Y PERÍMETRO DE LA CUENCA	52
FIGURA 26. LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL (m)	53

FIGURA 27.	ALTURA MÁXIMA Y MÍNIMA DEL CAUCE PRINCIPAL.....	53
FIGURA 28.	ALTURA MÁXIMA Y MÍNIMA DE LA CUENCA.....	54
FIGURA 29.	CURVA HIPSOMÉTRICA.....	55
FIGURA 30.	ORDEN DE CORRIENTE.....	57
FIGURA 31.	ESTACIONES CERCANAS A LA ZONA DEL PROYECTO.....	59
FIGURA 32.	PRECIPITACIÓN TOTAL (mm).....	60
FIGURA 33.	TEMPERATURAS MEDIAS MENSUALES (°C)	62
FIGURA 34.	AJUSTE A LA LEY DE GAUSS.....	65
FIGURA 35.	EVAPOTRANSPIRACIÓN MEDIANTE.....	78
FIGURA 36.	DIAGRAMA DE FLUJO DCC: EVAPOTRANSPIRACIÓN, BALANCE HÍDRICO Y ESCORRENTÍA	85
FIGURA 37.	VARIABLES DE SALIDA:	86
FIGURA 38.	RESULTADOS DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN CON LA HIDROLOGÍA CLÁSICA Y LA AUTOMATIZACIÓN EN FORMATO RÁSTER- MÉTODO PENMAN MONTEITH.....	87
FIGURA 39.	RESULTADOS DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN CON LA HIDROLOGÍA CLÁSICA Y LA AUTOMATIZACIÓN EN FORMATO RÁSTER- MÉTODO THORNTHWAITE	88
FIGURA 40.	RESULTADOS DE BALANCE HÍDRICO CON LA HIDROLOGÍA CLÁSICA Y LA AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS EN PYTHON.....	89
FIGURA 41.	DIAGRAMA DE MASAS - AÑOS HÚMEDOS (1978-1979).....	94
FIGURA 42.	DIAGRAMA DE MASAS - AÑOS SECOS (2008-2009-2010)	94
FIGURA 43.	DIAGRAMA DE MASAS - AÑOS NORMALES (2011-2012-2013)	94
FIGURA 44.	DATOS DE ENTRADA DE TEMPERATURA MENSUAL (1975)	203
FIGURA 45.	DATOS DE ENTRADA DE PRECIPITACIÓN MENSUAL (1975)	204
FIGURA 46.	SCRIPT PARA EL CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN (THORNTHWAITE), BALANCE HIDRICO Y ESCORRENTÍA	205
FIGURA 47.	COMANDO DE WINDOWS.....	205
FIGURA 48.	EJECUCIÓN DEL PROGRAMA (SCRIPT PYTHON).....	206
FIGURA 49.	EJECUCIÓN DEL PROGRAMA (SCRIPT DCC_ETO_BH_Q)	206
FIGURA 50.	RESULTADOS DE LA EJECUCIÓN DE LA HERRAMIENTA.....	207
FIGURA 51.	DATOS DE ENTRADA DE TEMPERATURA MENSUAL (2014)	208
FIGURA 52.	DATOS DE ENTRADA DE PRECIPITACIÓN MENSUAL (2014)	209

FIGURA 53.	SCRIPT PARA EL CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN (PENMAN MONTEITH)	210
FIGURA 54.	COMANDO DE WINDOWS.....	210
FIGURA 55.	EJECUCIÓN DEL PROGRAMA (SCRIPT PYTHON).....	211
FIGURA 56.	EJECUCIÓN DEL PROGRAMA (SCRIPT DCC_ETO)	211
FIGURA 57.	RESULTADOS DE LA EJECUCIÓN DE LA HERRAMIENTA.....	212

ANEXOS

- ANEXO A: TABLAS PARA EL CÁLCULO DE PRECIPITACIÓN Y DATOS METEOROLÓGICOS
- ANEXO B: PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN MEDIANTE EL MÉTODO DE PENMAN-MONTEITH
- ANEXO C: CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN Y BALANCE HIDRICO MEDIANTE EL MÉTODO DE THORNTHWAITE
- ANEXO D: CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN MEDIANTE EL MÉTODO DE PENMAN MONTEITH Y CÁLCULO DEL BALANCE HÍDRICO
- ANEXO E: CÁLCULO DE LA ESCORRENTIA MEDIANTE EL BALANCE HIDRICO PARA AÑOS SECOS HUMEDOS Y NORMALES
- ANEXO F: RESULTADOS DEL CÁLCULO MEDIANTE PYTHON
- ANEXO G: GUIA PARA LA UTILIZACIÓN DE LA HERRAMIENTA DCC_ETO_BH_Q
- ANEXO H: ENCUESTA Y RESULTADOS

RESUMEN EJECUTIVO



RESUMEN EJECUTIVO

La Evapotranspiración, Escorrentía y Balance Hídrico son variables importantes en hidrología porque determinan la oferta de agua disponible, las pérdidas que se tienen. En nuestro país existen muchas formas de determinar estas variables: de forma manual con hidrología convencional, con uso de software, programando; sin embargo hasta la fecha son pocos ingenieros que utilizan la plataforma SIG y procesamiento de imágenes satelitales para calcular estas variables.

Al determinar estas variables el procedimiento puede llegar a ser más tedioso ya que por un lado se debe hacer el cálculo de los parámetros geomorfológicos a través de la plataforma SIG y por otro lado utilizar algún software para procesar la información; conllevando a procedimientos poco prácticos, para solucionar este problema en nuestro medio podemos estar al alcance de la tecnología para poder resolver estas incógnitas haciendo uso de plataforma SIG al tener una representación geoespacial y haciendo uso de Python para automatizar los procesos de cálculo a través de la elaboración de un script.

Con el presente Trabajo de Grado se utilizó los Sistemas de Información Geográfica para programar el modelo de evapotranspiración, balance hídrico y escorrentía con Python convirtiendo el algoritmo unidimensional en un análisis geoespacial tridimensional en la cuenca del río Querén además de evaluar estas variables con la hidrología clásica.

Finalmente podemos mencionar que se ha logrado programar en Python 2.7 mediante un script la herramienta DCC_ETO_Q la cual permite calcular la evapotranspiración, escorrentía y balance hídrico para un año hidrológico obteniendo resultados muy confiables pues se hizo la valoración de los mismos realizando el procedimiento de forma manual.

ABSTRACT

The Evapotranspiration, Runoff and Hydric Balance are important variables in hydrology because they determine the supply of available water, the losses that are had. In our country there are many ways to determine these variables: manually with conventional hydrology, using software, programming; however, to date few engineers use the GIS platform and satellite image processing to calculate these variables.

By determining these variables the procedure can become more tedious since on the one hand the calculation of the geomorphological parameters must be done through the GIS platform and on the other hand use some software to process the information, leading to impractical procedures, to solve this problem in our environment we can be within reach of technology to solve these unknowns making use of the GIS platform by having a geospatial representation and using Python to automate the calculation processes through the elaboration of a script.

With the present degree work, Geographical information systems were used to program the evapotranspiration, water balance and runoff model with Python, converting the one-dimensional algorithm into a three-dimensional geospatial analysis on the Quereni river bank, in addition to evaluating these variables with classical hydrology.

Finally we can mention that the tool DCC_ETO_Q has been programmed in Python 2.7 by means of a script, which allows calculating evapotranspiration, runoff and hydric balance for a hydrological year, obtaining very reliable results since the valuation of them was carried out by performing the procedure manually.

GENERALIDADES



CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

Durante muchos años se vio la necesidad de evaluar datos geográficos como por ejemplo: suelos, vegetación, drenajes y otros de una forma rápida y precisa para poder realizar diferentes apreciaciones sobre los recursos existentes en la superficie terrestre. Es por ello que el avance tecnológico ha permitido la evolución de diferentes herramientas, como los Sistemas de Información Geográfica. (Conagua, 2008, pág. 22).

El campo de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) comenzó años antes de la década de los sesenta, mientras emergían las computadoras y los primeros conceptos de geografía cuantitativa y computacional además de enfoques cartográficos. La primera experiencia relevante en esta dirección la encontramos en 1959, cuando Waldo Tobler aplica los ordenadores al campo de la cartografía. En él, establece los principios básicos para la creación de datos geográficos, su codificación, análisis y representación dentro de un sistema informatizado.

Desde ese punto hasta nuestros días, los SIG han ido definiéndose en base a la evolución de la informática, la aparición de nuevas fuentes de datos susceptibles de ser utilizadas en el análisis geográfico muy especialmente las derivadas de satélites y del desarrollo de disciplinas relacionadas que han contribuido a impulsar el desarrollo propio de los SIG (Olaya, 2014, pág. 37).

Importantes desarrollos se han generado en el campo de la meteorología, en donde se han usado los SIG en conjunto con un radar meteorológico para determinar la

precipitación diaria con base en la reflectividad de la imagen mostrada por el radar, y a partir de esto, con la ayuda del SIG, integrar la imagen tomada por el radar y mostrar la distribución espacial de la intensidad de precipitación; esto constituye un aporte importante para la determinación de zonas susceptibles a sufrir inundaciones y demás calamidades desencadenadas por las fuertes precipitaciones.

Cada vez más investigadores se ayudan de los SIG para la construcción de modelos hidrológicos. Es necesario contar con un modelo que permita estimar los escurrimientos a partir de las características de la lluvia, tomando en cuenta las condiciones de la cuenca, por ejemplo: estimar la esorrentía a partir de información de precipitación es complejo por los diversos factores que lo controlan, como son las pendientes, el tipo de suelo y la cobertura vegetal.

Los modelos hidrológicos constituyen una herramienta fundamental en la determinación del agua disponible y en la evaluación de políticas de uso de suelo, concesiones y demás actividades relacionadas con la administración de este recurso. La modelación hidrológica comienza a mediados del siglo XX utilizándose para el diseño de canales, redes de drenaje, presas, puentes, diques y sistemas de distribución de agua.

Hasta mediados de la década de los 80's, la modelación hidrológica se limitó a tratar de explicar los mecanismos individuales involucrados en el ciclo hidrológico. (Montoya, 2018, pág. 28)

En Bolivia hay muchos criterios para realizar estos cálculos, pero no existe un programa que realice todas estas variables correlativamente, se necesita que los programas sean calculados de manera sistemática y manual, además de que no se utiliza todas las herramientas SIG, para tener un análisis cuantitativo se ha realizado una encuesta a ingenieros que trabajan en distintas instituciones y rubros (docentes, consultorías, ministerio de medio ambiente y agua, constructoras y estudiantes) de la cual un 13% no sabe usar ningún programa, un 67 % no conoce estas herramientas y

un 9% conoce el entorno de Python. Concluyendo que el 90% precisa para un trabajo más eficaz, la automatización de estas variables.

La presa “Sullkatiti Titiri” es un ejemplo de cómo se sigue utilizando la hidrología clásica obteniendo variables manualmente y de forma separada, con resultados cuestionables pues no se utilizaron mapas de cobertura vegetal, de uso de suelos y otros para la determinación de variables hidrológicas; en vez de ello se utilizaron tablas y coeficientes y formulas empíricas.

Para lograr una optimización en los resultados, el presente trabajo pretende unificar la hidrología clásica y el uso de herramientas SIG, utilizando un lenguaje de programación para calcular estas variables.

La implementación de un script a partir de datos de Sistemas de Información Geográfica genera resultados que se aproxima más a la realidad.

FIGURA 1. PRESA SULLKATITI TITIRI



Fuente: Soliz Flores (2020)

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1 Identificación del Problema

El uso de métodos convencionales para la adquisición de información hidrológica trae como efecto un empleo poco eficiente de los recursos tecnológicos actuales y por consiguiente un mayor tiempo de procesamiento de información.

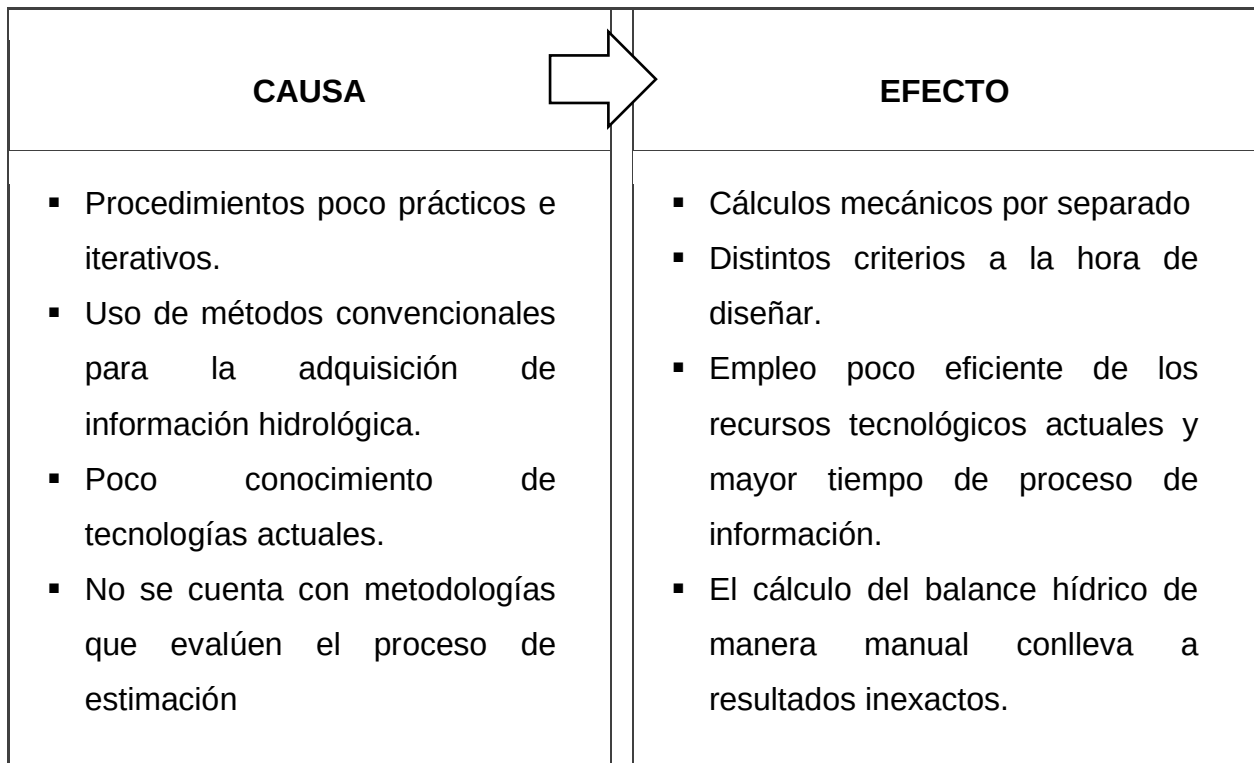
En este estudio se propone una metodología más eficaz para la obtención de evapotranspiración, escorrentía y balance hídrico. La metodología propuesta está basada en la utilización de la hidrología clásica y los Sistemas de Información Geográfica (SIG) creando una automatización de procesos, los cuales permiten trabajar con datos diversos que se den en una misma localización geográfica.

El balance hídrico, la evapotranspiración y la escorrentía son variables de vital importancia para el tema de recursos hídricos, como por ejemplo el sistema de riego en la zona contribuyendo de esta forma al incremento de la producción del lugar y para obtener dichas variables, existen diferentes criterios que va acompañado de la experiencia del proyectista, donde se toma en cuenta datos como la topografía, tipos de suelo, pendientes, entre otros, el SIG absorbe estos valores; si bien es posible realizar el cálculo, pero requiere de tareas tediosas, además de procedimientos dispendiosos y poco prácticos.

1.2.2 Formulación del Problema

¿Será posible programar, plantear, disponer y proyectar un script en Python para determinar la evapotranspiración, balance hídrico y escorrentía, sin recurrir a cálculos mecánicos por separado además minorar el tiempo en la resolución?

DIAGRAMA CAUSA-EFECTO



1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General

Evaluar las variables hidrológicas calculadas a partir de la programación en Python: Evapotranspiración, Balance Hídrico y Escorrentía en el proyecto “Construcción sistema de riego presa Sullkatiti Tititi”

1.3.2 Objetivos Específicos

- a) Analizar la información de la zona del proyecto.
- b) Realizar el cálculo de las variables de Evapotranspiración, balance hídrico y escorrentía mediante hidrología clásica.

- c) Programar en Python los algoritmos para el cálculo de las variables hidrológicas de evapotranspiración, balance hídrico y escorrentía.
- d) Calcular con los programas en Python las variables hidrológicas de evapotranspiración, escorrentía y balance hídrico.
- e) Evaluar las variables obtenidas a partir de un análisis comparativo de resultados.

1.4 JUSTIFICACIÓN

1.4.1 Justificación Técnica

Este Trabajo de Grado presentará una metodología, basada en Sistemas de Información Geográfica y el entorno Python, con el fin de brindar una herramienta útil a la ingeniería para que la determinación de la evapotranspiración, escorrentía y balance hídrico sea más sencilla, rápida y precisa ya el lenguaje de programación posee funciones que facilitan el desarrollo de la modelación además a partir de estos resultados se podrán hacer obras y diseños que se planteen a futuro.

1.4.2 Justificación Económica

El presente Trabajo de Grado tiene la ventaja de ser mucho más rápido y económico ya que al utilizar las herramientas SIG y el entorno de programación de una manera más eficiente, el cálculo de las variables es un proceso rápido que tiene un ahorro considerable de tiempo y más preciso que un cálculo manual.

1.4.3 Justificación Social

La determinación automática de variables hidrológicas además de ahorrar tiempo hace que la inversión pública en este tipo de proyectos no sea gastada en sobrecostos debidos a un mal diseño o sea injustificada el corto plazo por la necesidad de una reinversión por malos cálculos.

Asimismo, será de mucha utilidad para ser utilizado en proyectos de riego y abastecimiento de agua potable, los cuales tendrán cálculos que se asemejará más a la realidad y así podrán ser más eficientes a lo largo de su vida útil, ayudando a mejorar la calidad de vida de las personas que viven en la zona.

1.4.4 Justificación Ambiental

El desarrollo del presente trabajo proporcionará datos que aplicados, podrían evitar una sobreexplotación de los recursos hídricos en la zona, situación que afectaría negativamente el equilibrio ecológico en la cuenca.

MARCO TEÓRICO



CAPITULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 HIDROLOGÍA

La hidrología es la ciencia que se enfoca al ciclo hidrológico global y a los procesos involucrados en la parte continental de dicho ciclo, es decir, es la geo ciencia que describe y predice las variaciones espaciales y temporales del agua en las etapas terrestre, oceánica y atmosférica del sistema hídrico global y el movimiento del agua sobre y debajo de la superficie terrestre, incluyendo los procesos químicos, físicos y biológicos que tienen lugar a lo largo de su trayectoria. (Dingman S. L., 1994)

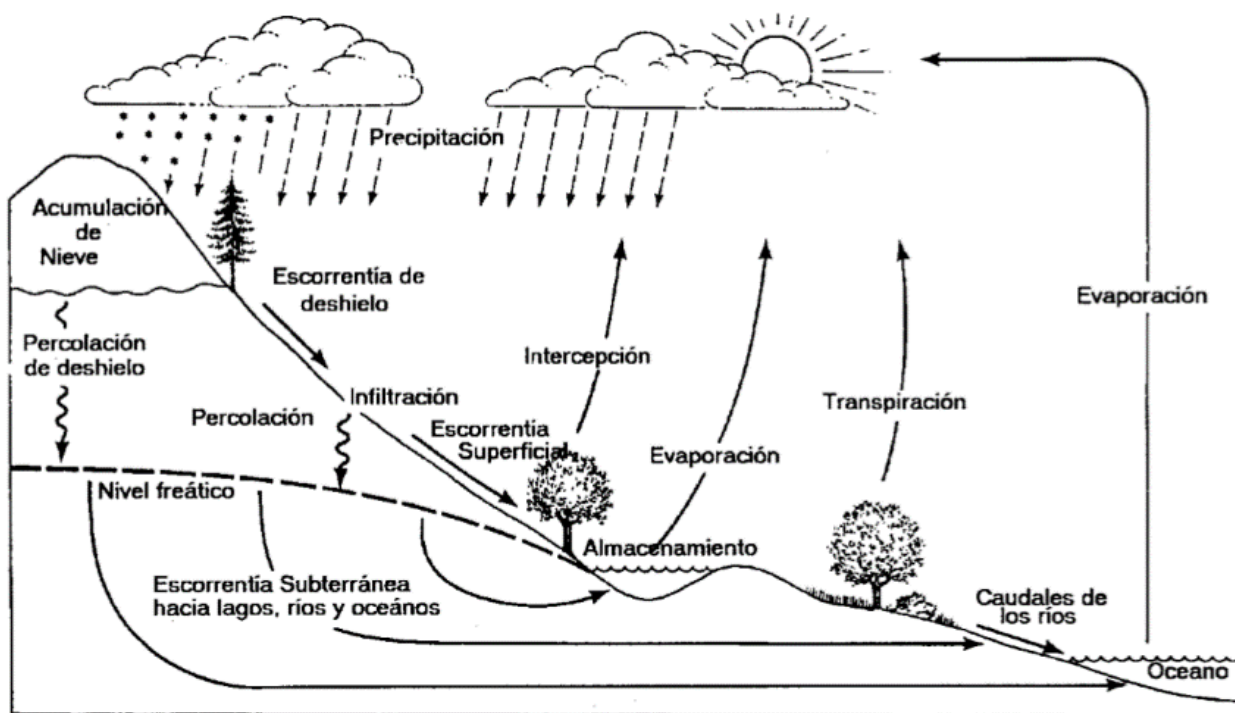
2.1.1 Ciclo Hidrológico

Se denomina ciclo hidrológico al conjunto de cambios que experimenta el agua con la naturaleza, tanto en su estado (sólido, líquido, gaseoso), como en su forma (agua superficial, agua subterránea y otros).

El agua de la superficie se evapora, el agua de las nubes se precipita, el agua se filtra por la tierra, etc. Sin embargo, la cantidad total de agua en el planeta no cambia.

Si se quiere representar el caso más frecuente de un sistema hidrológico, que es el constituido por el proceso lluvia escurrimiento en una cuenca, y teniendo en cuenta que cuenca es una superficie de terreno que drena hacia una corriente en un lugar dado y la división de aguas en una línea que separa dicha superficie de otras que drenan hacia otros cauces donde estas son conducidas a embalses, lagos u océanos, desde donde se evapora o infiltra en el terreno como se muestra en la Figura 2.

FIGURA 2. EL CICLO HIDROLÓGICO



Fuente: Hidrología, Rubén Villodas

2.1.2 Cuenca Hidrográfica

Una cuenca es una zona de la superficie terrestre en donde (si fuera impermeable) las gotas de lluvia que caen sobre ella tienden a ser drenadas por el sistema de corrientes hacia un mismo punto de salida.

2.1.2.1 División de una Cuenca Hidrográfica

Dentro de los términos que generalmente se utilizan, para definir e identificar los componentes que identifican las características de una cuenca se tiene:

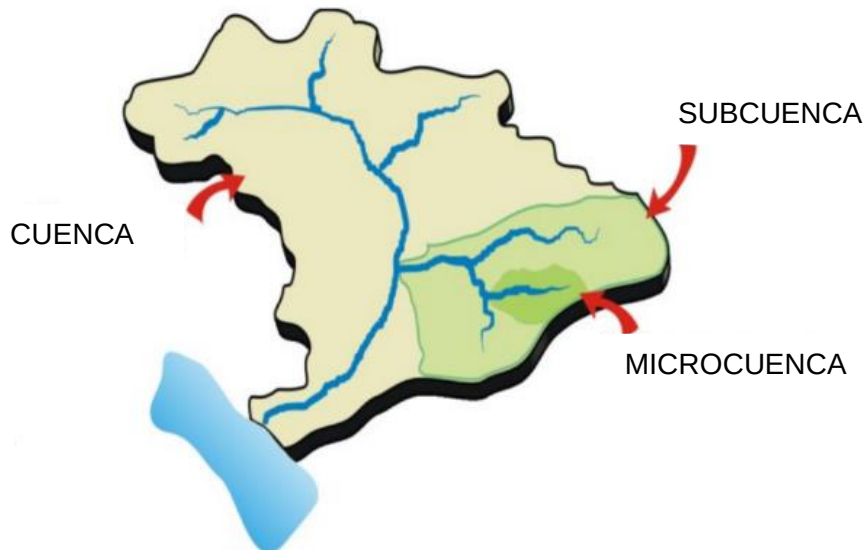
a) Cuenca

Sistema integrado por varias subcuencas o microcuencas.

b) Subcuenca

Área que desarrolla su drenaje directamente al curso principal de la cuenca. Varias subcuencas pueden conformar una cuenca.

FIGURA 3. CUENCA, SUBCUENCA Y MICROCUENCA



Fuente: Adaptado por Casaverde (2011)

c) Microcuenca

Área que desarrolla su drenaje directamente a la corriente principal de una subcuenca. Varias microcuencas pueden conformar una subcuenca.

d) Quebradas

Área que desarrolla su drenaje directamente a la corriente principal de una microcuenca.

2.1.2.2 Factores Morfométricos

a) Área de la Cuenca

Definida como la superficie en proyección horizontal, delimitada por la divisoria o línea imaginaria formada por los puntos de mayor nivel topográfico. (Soliz, 2018). El área de

la cuenca es expresada en hectáreas (ha) o kilómetros cuadrados (km²) y puede ser obtenida por planimetrage de mapas o por cálculos a partir de mapas digitalizados utilizando herramientas computacionales de SIG (Sistemas de Informaciones Geográficas). (TUCCI, 2004, pág. 46)

b) Perímetro

Es la longitud del contorno del área de la cuenca. Es un parámetro importante, pues en conexión con el área nos puede decir algo sobre la forma de la cuenca. Usualmente este parámetro físico es simbolizado por la mayúscula "P" y se expresa en km. (Guachamin, 2015, pág. 22)

c) Longitud del río principal

Es la longitud del río principal de la cuenca, donde van a drenar todos los afluentes y quebradas.

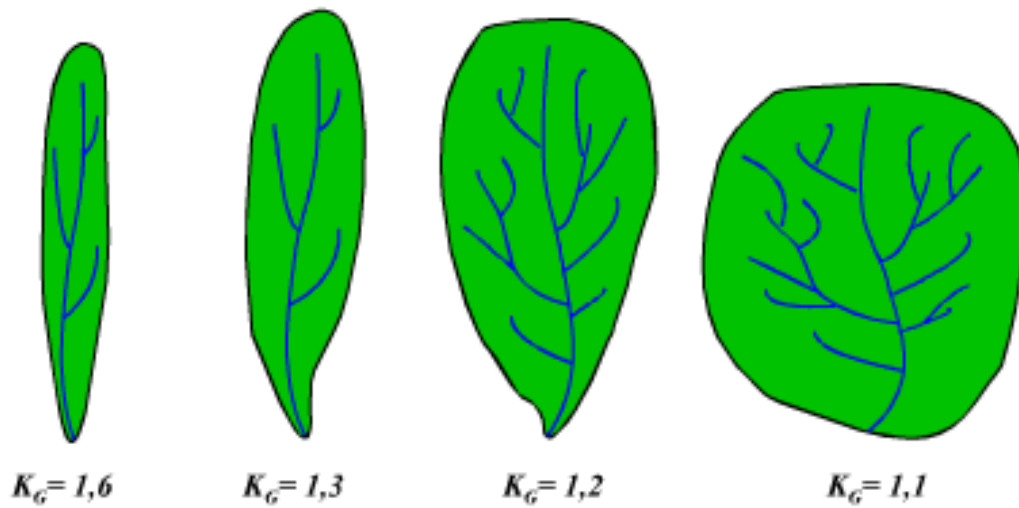
d) Parámetros de forma de la cuenca

La forma de la cuenca interviene de manera importante en las características de descarga de un río, en especial en los eventos de avenidas máximas.

e) Índice de Gravelius o coeficiente de compacidad

Nos indica que la forma de la cuenca más elongada tiene un mayor tiempo de concentración y menor descarga en el punto de medición. La forma de abanico tiene menos tiempo de concentración y mayor descarga en el punto de medición. El valor del índice más grande es igual a una cuenca más larga y angosta.

FIGURA 4. ÍNDICE DE GRAVELIUS



Fuente: Recursos hídricos, hidráulica e ingeniería sanitaria, Morales (2020)

$$K_G = 0.28 \frac{P}{\sqrt[2]{A}} \quad (1)$$

Donde:

K_G = Índice de Gravelius

A = Área de la cuenca (km^2)

P = Perímetro de la cuenca (km)

f) Rectángulo equivalente

Es un rectángulo que tiene la misma superficie de la cuenca, el mismo índice de compacidad e idéntica repartición hipsométrica.

g) Radio de elongación

Es también un factor adimensional que define la forma de la cuenca y viene dado por:

$$R = 112 * \frac{\sqrt{A}}{L} \quad (2)$$

h) Factor de forma

Es la relación entre el área de la cuenca y el lado mayor del rectángulo equivalente, dado por:

$$Ff = \frac{A}{L^2} \quad (3)$$

i) Índice de pendiente

Es el valor que corresponde a la media de las pendientes en la cuenca. En base a la experiencia recogida de una innumerable cantidad de ríos del mundo, se ha llegado a determinar ciertos rangos de pendientes y los tipos de terrenos correspondientes, tal como se muestra en la siguiente tabla:

TABLA 1. TIPO DE TERRENO RESPECTO A LA PENDIENTE MEDIA DE LA CUENCA

PENDIENTE MEDIA	FORMA
MENOR O IGUAL A 2%	LLANO
2 – 5%	SUAVE
5 – 10 %	ACCIDENTADO MEDIO
10 – 15 %	ACCIDENTADO
15 – 20 %	FUERTEMENTE ACCIDENTADO
20 – 50 %	ESCARPADO
MAYOR A 50 %	MUY ESCARPADO

Fuente: Estudio vertebración vial comunidades Zongo-Choro (2005)

$$I_p = \frac{H_{max} - H_{min}}{1000L} * 100 \quad (4)$$

Donde:

H_{max} = Altura máxima del curso en m.s.n.m.

H_{min} = Altura mínima del curso en m.s.n.m.

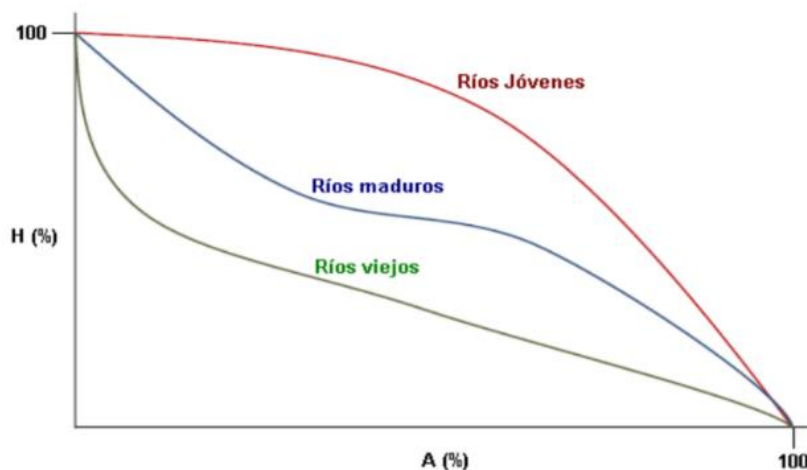
L = Longitud del curso principal (Km)

j) Parámetros de relieve

1) Curva hipsométrica

Es una curva que indica el porcentaje de área de la cuenca o bien la superficie de la cuenca en km^2 que existe por encima de una cota determinada. Puede hallarse con la información extraída del histograma de frecuencias altimétricas. (Guachamin, 2015, pág. 24)

FIGURA 5. CAMBIO DE FORMA DE LA CURVA HIPSONOMÉTRICA CON LA EDAD DEL RIO



Fuente: Morfología de las cuencas hidrográficas. Ibáñez, Sara (2011)

k) Densidad de drenaje

Se define como la relación entre la longitud total de los cursos de agua y su área total, tal como se aprecia en la expresión:

$$D_d = \frac{L}{A} \quad (5)$$

Donde:

D_d = Densidad de drenaje (km/km²)

L = Longitud de cauce (km)

A = Área de la cuenca (km²)

I) Tiempo de concentración

Se define como el tiempo mínimo necesario para que todos los puntos de una cuenca estén aportando agua de escorrentía de forma simultánea al punto de salida, punto de desagüe o punto de cierre. Está determinado por el tiempo que tarda en llegar a la salida de la cuenca el agua que procede del punto hidrológicamente más alejado, y representa el momento a partir del cual el caudal de escorrentía es constante.

A continuación se muestran algunas fórmulas para hallar el tiempo de concentración según el criterio de cada autor:

1) Kirpich

$$t_c = 0.02L^{0.77}S^{-0.385} \quad (6)$$

Donde:

t_c = Tiempo de concentración (minutos)

L = Longitud máxima a la salida (m)

S = Pendiente media del lecho (m/m)

2) SCS

$$t_c = \left(\frac{0.868 * Lr^3}{Hr} \right)^{0.385} \quad (7)$$

Donde:

t_c = Tiempo de concentración (horas).

Lr = Longitud del río, curso principal (Km)

Hr = Desnivel entre la cota máxima río y punto de control (m)

3) Passini

$$t_c = \frac{0.08(A * Lr)^{\frac{1}{3}}}{I r^{\frac{1}{2}}} \quad (8)$$

Donde:

t_c = Tiempo de concentración (horas)

A = Área de la cuenca (Km²)

Lr = Longitud del río, curso principal (Km)

$I r$ = Pendiente media del río (m/m)

4) Giandatti

$$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5 * Lr}{0.80 * \sqrt{Hc}} \quad (9)$$

Donde:

t_c = Tiempo de concentración (horas)

A = Área de la cuenca (Km^2)

L_r = Longitud del río, curso principal (Km)

H_c = Desnivel entre la cota máxima de la cuenca y el punto de control (m)

5) Isocronas

$$t_c = 0.30 * \left(\frac{L_r}{I_r^{0.25}} \right)^{0.75} \quad (10)$$

Donde:

t_c = Tiempo de concentración (horas).

L_r = Longitud del río, curso principal (Km)

I_r = Pendiente media del río (m/m)

2.1.3 Temperatura

La cantidad de energía solar, retenida por el aire en un momento dado, se denomina Temperatura. Se puede afirmar que la temperatura depende ante todo de la radiación solar. No obstante, son tres los factores del clima que hacen funcionalmente variar la temperatura. Ellos son: la altitud, la latitud y la proximidad al mar. (Ordoñez G, 2011, pág. 11)

2.1.3.1 Forma de Medición

Normalmente, la temperatura se mide con un máximo ($T_{\max}$) y un mínimo ($T_{\min}$) a partir de los cuales se define la temperatura media, $T_m = (T_{\max} + T_{\min})/2$. Esta

aproximación al verdadero valor medio diario es tanto mejor cuanto más simétrico es el ciclo diario de temperaturas (lo que raramente ocurre). Otros promedios agregados (es decir, semanales, mensuales, estacionales, anuales) se obtienen de los promedios aritméticos de cantidades diarias sobre el período de interés.

2.1.4 Precipitación

La precipitación, es toda forma de humedad que, originándose en las nubes, llega hasta la superficie terrestre. La precipitación incluye la lluvia, la nieve, granizo, niebla y otros procesos mediante los cuales el agua cae a la superficie terrestre.

La estimación de todos estos datos de lluvia que precipitan hacia la tierra, se efectúa mediante la ayuda de pluviómetros o pluviógrafos. Estos equipos deberán ser instalados en lugares apropiados donde no exista interferencias con árboles, edificaciones o cualquier otro obstáculo que perjudique la medición; por su parte la unidad de medida de la precipitación estará dada en (mm), la misma que puede ser cuantificada por medio de la cantidad de lámina de agua que cae sobre un metro cuadrado de superficie. (Garcia, Puppo, & Hayashi, 2013, pág. 8)

Actualmente en nuestro país, el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMI) registra las precipitaciones expresadas en milímetros cuyo equivalente es un litro de agua por metro caído y para una mejor evaluación lo detallan por meses.

2.1.4.1 Datos Pluviométricos

Los datos habituales que se pueden obtener de una estación pluviométrica son las precipitaciones diarias, las precipitaciones en diferentes intervalos de tiempo (1 hora, 30 minutos, 20 minutos y 10 minutos), precipitaciones mensuales, número de días de lluvia, nieve o granizo durante el mes y la precipitación máxima diaria producida en el mes. Se definen diferentes conceptos con el propósito de obtener valores medios y puntuales en el mes y el año.

a) Precipitación media mensual

Es la media aritmética de las precipitaciones mensuales, de un cierto mes, a lo largo de una serie de años; es decir, si la serie es de 30 años sería hacer la media de los 30 meses, por ejemplo, enero, que hay en la serie. En consecuencia, la suma de las medias mensuales de todos los meses del año coincide con el módulo pluviométrico anual medio. Es la lámina total acumulada en un mes. (Anónimo)

b) Precipitación mensual total (Pm)

Es la lámina total acumulada en un mes.

2.1.4.2 Cálculo de la Precipitación Media sobre la Zona

a) Promedio aritmético

Consiste en realizar la suma del valor registrado en cada una de las estaciones pluviométricas y/o pluviográficas ubicadas dentro del área en estudio y dividirla por el número total de estaciones, siendo el valor así hallado la Precipitación Media. Se trata de un método de resolución rápida y que conlleva un grado de precisión muy relativo, el cual depende: del número de estaciones pluviométricas y/o pluviográficas, de la ubicación de las mismas en la cuenca y de la distribución de la lluvia estudiada.

$$P = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i \quad (11)$$

Donde:

P = Precipitación media sobre la cuenca (mm)

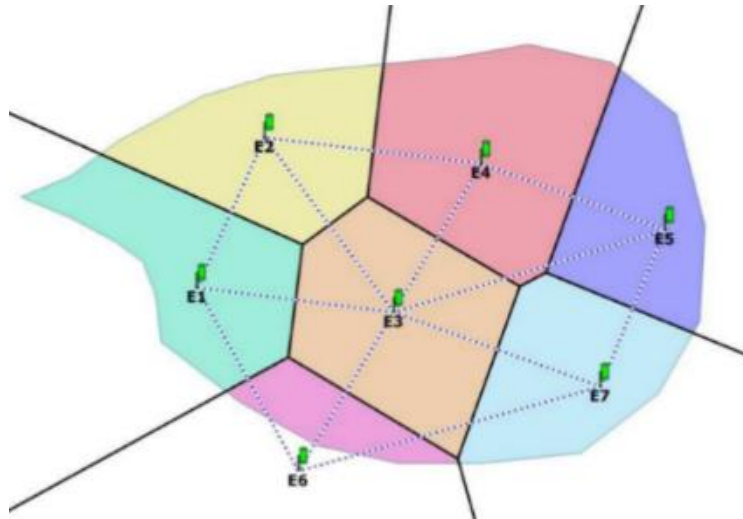
P_i = Precipitación observada en la Estación i (mm)

n = Número de estaciones

b) Polígono de Thiessen

Requiere el conocimiento de la ubicación de cada estación dentro o en la periferia de la cuenca para proceder a su aplicación, identificando el área de influencia de cada pluviómetro y/o pluviógrafo. Así se van formando triángulos entre las estaciones más cercanas uniéndolas con segmentos rectos sin que éstos se corten entre sí y tratando que los triángulos sean lo más equiláteros posibles. A partir de allí se trazan líneas bisectoras perpendiculares a todos los lados de los triángulos, las que al unirse en un punto común dentro de cada triángulo conforma una serie de polígonos que delimitan el área de influencia de cada estación. El área de influencia de cada estación considerada “Polígono” está comprendida exclusivamente dentro de la cuenca. (Linsley, Kholer, & Paulus, 1982)

FIGURA 6. TRAZADO DE LOS POLÍGONOS DE THIESSEN



Fuente: Hidrología para Ingenieros. Linsley et al.(1982)

$$P = \frac{1}{A} \sum_{i=1}^n A_i P_i \quad (12)$$

Donde:

P = Precipitación media sobre la cuenca (mm)

P_i = Precipitación observada en la Estación i (mm)

A_i = Área del polígono correspondiente a la Estación i (km²)

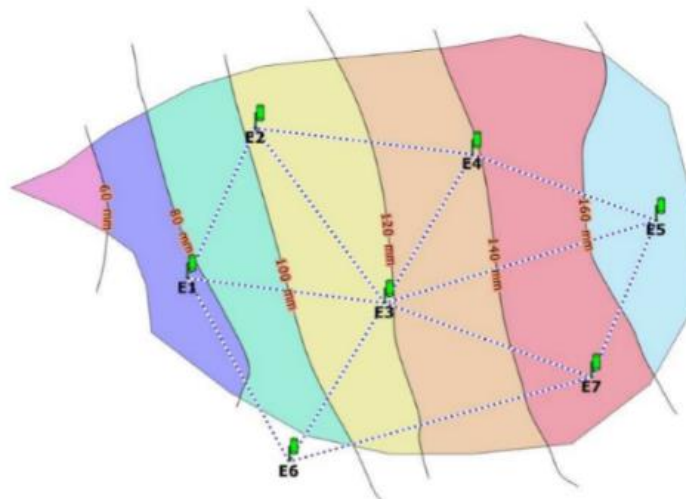
A = Área total de la cuenca (km²)

n = Número de estaciones pluviométricas y/o pluviográficas con influencia en la cuenca

c) Isoyetas

Para emplear este criterio, se necesita un plano de isoyetas de la precipitación registrada en las diversas estaciones de la zona en estudio. Las isoyetas, son curvas que unen puntos de igual precipitación. Este método es el más exacto. Se puede decir que, si la precipitación es de tipo orográfico, las isoyetas tenderán a seguir una configuración parecida a las curvas de nivel. Entre mayor sea el número de estaciones dentro de la zona de estudio, mayor será la aproximación con lo cual se trace el plano de isoyetas.

FIGURA 7. TRAZADO DE LAS CURVAS DE ISOYETAS



Fuente: Hidrología para Ingenieros. Linsley et al.(1982)

$$P = \frac{\frac{P_o + P_1}{2} A_1 + \dots + \frac{P_{n-1} + P_n}{2} A_n}{A_1 + \dots + A_n}$$

$$P = \frac{1}{A_T} \sum_{i=1}^n \frac{P_{i-1} + P_i}{2} A_i \quad (13)$$

Donde:

P = Precipitación media de la zona o cuenca (mm).

A_T = Área total de la cuenca (km²).

A_i = Área parcial comprendida entre las isoyetas P_{i-1} y P_i (km²).

P_i = Altura de precipitación de las isoyetas i (mm).

n = Número de áreas parciales.

2.1.5 Evapotranspiración

Es una etapa permanente del ciclo hidrológico. Hay evaporación en todo momento y en toda superficie húmeda. Algunos de los factores que influyen en el proceso de evaporación son la radiación solar, temperatura del aire, humedad atmosférica, viento y tamaño de la masa de agua. (Máximo, 2002)

Considerando un fenómeno físico la evaporación es el paso del agua del estado líquido al estado gaseoso; sin embargo, hay otro tipo de evaporación provocada por la actividad de las plantas, que recibe el nombre de transpiración.

$$Evaporacion\ Total: Evaporación = (evaporación + transpiración) \quad (14)$$

Por tanto, la evapotranspiración es la cantidad de agua transferida del suelo a la atmosfera por evaporación y transpiración de la las plantas como se muestra en la Figura 8.

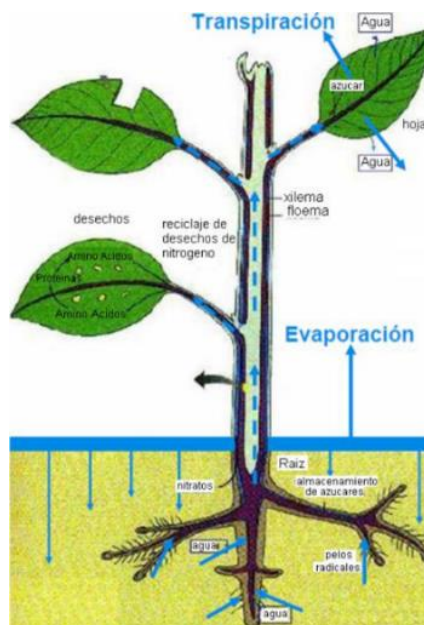
a) Evaporación

Proceso físico en el cual el agua en estado líquido pasa a vapor.

b) Transpiración

Proceso biológico por el cual las plantas pierden agua a la atmosfera. La evaporación varía con la latitud, época del año, hora del día y condiciones de nubosidad.

FIGURA 8. PROCESO DE EVAPOTRANSPIRACIÓN)



Fuente: Texto Alumno de Hidrología, Agustín & Weimar (2009)

2.1.5.1 Medición de la Evapotranspiración

a) Evapotranspiración potencial (ETP)

Es la cantidad de agua que puede ser evaporada, en caso de tener una fuente ilimitada de agua, bajo las condiciones atmosféricas existentes.

b) Evapotranspiración real (ETR)

Es la suma de las cantidades de agua evaporadas a partir del suelo y las transpiradas por los vegetales, bajo condiciones atmosféricas de suelo y de vegetación existente.

NOTA: El cálculo de ETR se muestra en la Figura 15.

2.1.5.2 Métodos Indirectos o Empíricos

a) Método de Thornthwaite

La fórmula se basa en la temperatura y en la latitud, útil para estimar la evapotranspiración potencial y tiene la ventaja de que la fórmula usa datos climatológicos accesibles (temperaturas medias mensuales). El método da ofrece buenos resultados en zonas húmedas con vegetación abundante. Thornthwaite, empíricamente halló las siguientes expresiones:

$$i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1.514} \quad (15)$$

$$I = \sum_{1}^{12} i \quad (16)$$

$$a = 675 * 10^{-9} * I^3 - 771 * 10^{-7} * I^2 + 1792 * 10^{-5} * I + 0.49239 \quad (17)$$

$$ET_o = \frac{N}{12} * \frac{d}{30} * 16 * \left(\frac{10 * t}{I}\right)^a \quad (18)$$

Donde:

ET_o = Evapotranspiración potencial mensual (mm/mes)

i = Índice térmico mensual

I = Índice térmico anual

t = Temperatura media mensual del mes (°C)

a = Constantes a determinar, que dependen de cada lugar

N = Número máximo de horas sol para el mes considerado, según la latitud

d = El número de días del mes.

Se obtienen resultados aceptables en zonas húmedas con vegetación abundante, pero los errores aumentan en zonas áridas o semiáridas.

b) Método de Blaney-Criddle

El método considera que la ET es proporcional al producto de la temperatura por el porcentaje de horas de sol diarias anuales durante el período considerado, generalmente un mes. Esta fórmula debe ser empleada principalmente para zonas áridas y semiáridas.

$$ET_o = p(0.46 * T + 8.13) \quad (19)$$

Donde:

Eto = Evapotranspiración de referencia (mm/día)

T = Temperatura media diaria (°C)

p = Porcentaje medio diario de las horas luz anuales

c) Método de Hargreaves

De acuerdo al método de Hargreaves, la temperatura y la radiación pueden ser utilizadas juntas para predecir efectivamente la variación de la ETo. Hargreaves y Ryley (1985), publicaron una ecuación para la ETo, desarrollada en base a mediciones de varios lisímetros, y en comparaciones con otros métodos se calibró en base a 8 años de valores de ET medidos para el pasto Alta Festuca y a datos climáticos correspondientes a Davis (California, EEUU). De acuerdo a Hargreaves y Samani (1991), la ecuación de Hargreaves se expresa de la siguiente manera:

$$ET_o = 0.0023RA(T^{\circ}C + 17.8)TD^{0.5} \quad (20)$$

Donde:

Eto = Evapotranspiración de referencia (mm/día).

RA = Radiación extraterrestre expresada en mm/día de evaporación

T°C = Temperatura media $(T_{\max} + T_{\min})/2$ (°C).

TD = Amplitud térmica $T_{\max} - T_{\min}$ (°C)

1) Aplicabilidad

Hargreaves (1982), reconoce que este modelo requiere calibración local, principalmente en zonas de altas temperaturas en verano. (Ollala y Valero, 1993)

2) Desventajas

Puede existir una sobrestimación de la ETo, si las condiciones de clima o sus factores no son muy uniformes. Requiere de una calibración en climas cálidos, o donde las temperaturas son muy elevadas.

d) Método de Penman – Monteith

El panel de expertos, organizado por la FAO (1990), recomendó la adopción de la ecuación Penman Monteith como un nuevo estándar de la Evapotranspiración de referencia y sugiere procedimientos para el cálculo de los diferentes parámetros de la ecuación. Se define el cultivo de referencia como un cultivo hipotético con una altura de 0.12 m, una resistencia de la superficie de 70 s/m y un albedo de 0,23, que cercanamente reproduce la evapotranspiración de una superficie extensa de pasto verde de altura uniforme, que crece activamente sin restricciones de suelo y agua.

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_s (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_s)} \quad (21)$$

Donde:

ETo = Evapotranspiración de referencia (mm/día)

R_n = Radiación neta en la superficie del cultivo (MJ/m²d)

G = Flujo de calor del suelo (MJ/m²d)

T = Temperatura media del aire (°C)

U_2 = Velocidad del viento a 2 m de altura (m/s)

$(e_s - e_a)$ Déficit de presión de vapor (Kpa)

Δ = Pendiente de la curva de presión de vapor (KPa/°C)

γ = Constante psicométrica (KPa/°C)

1) Aplicabilidad

La consulta de expertos organizada por la FAO, recomienda el Método Penman-Monteith como método estándar para ser usada para el cálculo de la Evapotranspiración de referencia en todo el mundo.

2) Ventajas

El procedimiento de cálculo prevé procedimientos para datos completos y para datos faltantes. El método puede ser usado incluso cuando se cuenta solo con datos de temperatura máxima y mínima.

NOTA: Para el cálculo de las variables del método se desarrollan las fórmulas a utilizar (ANEXO B: Cálculo de la evapotranspiración mediante el método de Penman-Monteith)

2.1.6 Escorrentía

Es otro componente del ciclo hidrológico, y se define como el agua proveniente de la precipitación, que circula sobre la superficie terrestre, y que llega a una corriente para finalmente ser drenada hasta la salida de la cuenca. (Aparicio, 1989)

El escurrimiento superficial es aquel que proviene de la precipitación no infiltrada y que ocurre sobre la superficie del suelo. El efecto sobre el escurrimiento total es inmediato, y existirá durante la tormenta e inmediatamente después de que esta termine.

a) Caudal medio mensual Q_m

Se calcula hallando para cada mes la media aritmética de los caudales promedios diarios.

b) Caudal promedio mensual interanual

Es la media de los caudales medios mensuales para un mes dado durante un período de n años.

c) Caudal medio anual

Es la media de los caudales promedios diarios durante un año.

d) Caudal máximo instantáneo anual

Es el máximo caudal que se presenta en un año determinado. Para su determinación es necesario que la estación de aforo tenga limnógrafo. Si no es así se habla de caudal máximo promedio anual el cual es menor que el máximo instantáneo anual.

e) Caudal mínimo anual

Es el menor caudal que se presenta durante un año determinado.

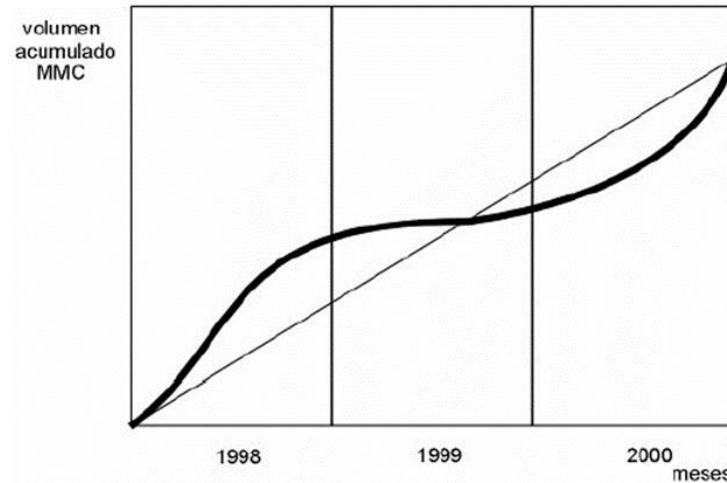
2.1.6.1 Métodos para la Determinación de Escorrentía Directa

a) Curva masa o de volúmenes acumulados

Llamada también curva de volúmenes acumulados o diagrama de Rippl se usa en el estudio de regularización de los ríos por medio de embalses además que proporciona

el volumen acumulado, que ha escurrido en una estación en función del tiempo a partir de un origen arbitrario.

FIGURA 9. CURVA MASA O DE VOLUMENES ACUMULADOS



Fuente: Texto Alumno de Hidrología, Agustín & Weimar (2009)

Propiedades:

- i. La curva masa es siempre creciente, pues el agua que escurre en un río se añade a la suma de los períodos anteriores.
- ii. La tangente en cualquier punto de la curva masa, proporciona el caudal instantáneo en ese punto.
- iii. El caudal promedio (Q_m), para un período de tiempo t , se obtiene de la pendiente de la cuerda, que une los puntos de la curva masa, para ese período de tiempo (Figura), o lo que es lo mismo, de la división del incremento del volumen, entre el período de tiempo, es decir:

$$Q_m = \frac{V_2 - V_1}{t_2 - t_1} \quad (22)$$

- iv. Los puntos de inflexión de la curva masa, tales como de la Figura corresponden respectivamente, a los caudales máximos de crecidas, y mínimos de estiaje, de la curva de caudales instantáneos.

Aplicaciones de la curva masa la curva masa se usa para:

- i. Determinar la capacidad mínima de un embalse necesaria para satisfacer una demanda.
- ii. Operación de embalses.

Construcción de la curva masa:

Con el registro de caudales históricos de promedios mensuales, el proceso para construir la curva masa, es como sigue:

Transformar los caudales Q, en m³/s, a volúmenes V, por lo general expresado en MM3 (millones de metros cúbicos, m³)

$$V = Q * T \quad (23)$$

$$V = \left(\frac{m^3}{s} \right) * \#dias * \left(\frac{24 hrs}{1 dia} * \frac{3600s}{1hr} * \frac{1MM^3}{10^6m^3} \right)$$

Donde:

V = Volumen, en MM3 (millones de m³)

T = Número de días del mes (28, 29, 30 o 31)

Q = Caudal (m³/s)

- i. Acumular los volúmenes y obtener la columna de volúmenes acumulados.
- ii. Plotear en las abscisas los meses y en las ordenadas la columna de volúmenes acumulados.

FIGURA 10. CONSTRUCCIÓN CURVA MASA

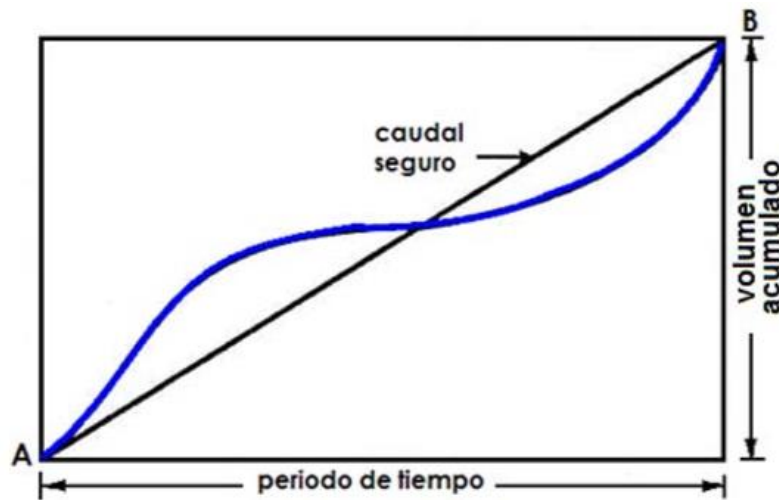


Fuente: Texto Alumno de Hidrología, Agustín & Weimar (2009)

Dibujada la curva masa se puede conocer:

- i. El volumen escurrido desde el inicio del periodo hasta una fecha dada.
- ii. El volumen escurrido entre dos fechas.
- iii. El caudal medio correspondiente a un intervalo t_2-t_1 , que viene a ser proporcional a la pendiente de la recta, que une los puntos de curva de abscisas t_2-t_1 .
- iv. El caudal en una fecha, que viene a ser proporcional a la pendiente de la recta tangente a la curva en el punto correspondiente.
- v. El caudal medio o caudal seguro correspondiente a todo el periodo (tangente trigonométrica de la recta AB de la Figura 11).

FIGURA 11. CAUDAL SEGURO



Fuente: Texto Alumno de Hidrología, Agustín & Weimar (2009)

b) Curva de duración de caudales

La curva de duración llamada también curva de persistencia, o curva de permanencia de caudales, es una distribución de frecuencia acumulada que indica el porcentaje del tiempo durante el cual los caudales han sido igualados o excedidos.

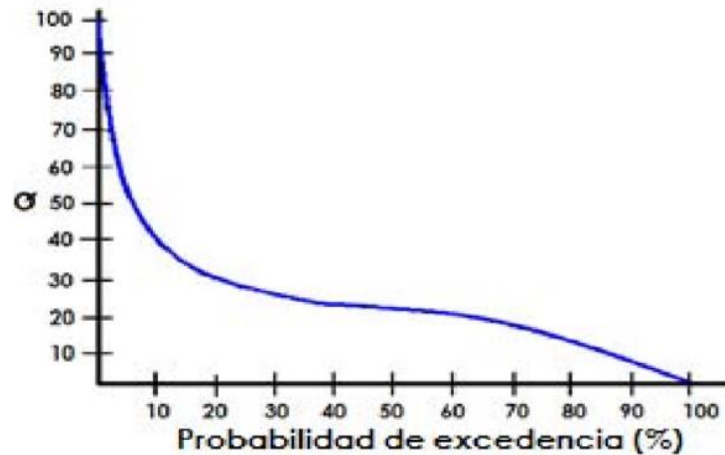
Las curvas de duración permiten estudiar las características fluviométricas de los ríos y comparar diferentes cuencas además esta resulta del análisis de frecuencias de la serie histórica de caudales medios diarios en el sitio de captación de un proyecto de suministro de agua. Se estima que, si la serie histórica es suficientemente buena, la curva de duración es representativa del régimen de caudales medios de la corriente y por lo tanto puede utilizarse para pronosticar el comportamiento del régimen futuro de caudales, o sea el régimen que se presentará durante la vida útil de la captación

Construcción de la curva de duración: La curva de duración puede ser construida con caudales diarios y mensuales siguiendo los siguientes pasos:

- i. Ordenar los caudales medios mensuales para cada año en forma decreciente.
- ii. Asignar un número de orden para cada año.
- iii. Promediar los caudales para un mismo número de orden.

- iv. Graficar caudales en las ordenadas y número de orden o probabilidades de excedencia en las abscisas.

FIGURA 12. CURVA DE DURACIÓN



Fuente: Texto Alumno de Hidrología, Agustín & Weimar (2009)

Otro de los métodos para hallar el caudal es mediante el balance hídrico, descrito a continuación.

2.1.7 Balance Hídrico

Lo que entra menos lo que sale es igual al cambio de almacenamiento. (Monsalvez, 1995)

$$\text{Caudal entrante (E)} - \text{Caudal saliente (S)} = \pm \text{Cambio de almacenamiento (A)}$$

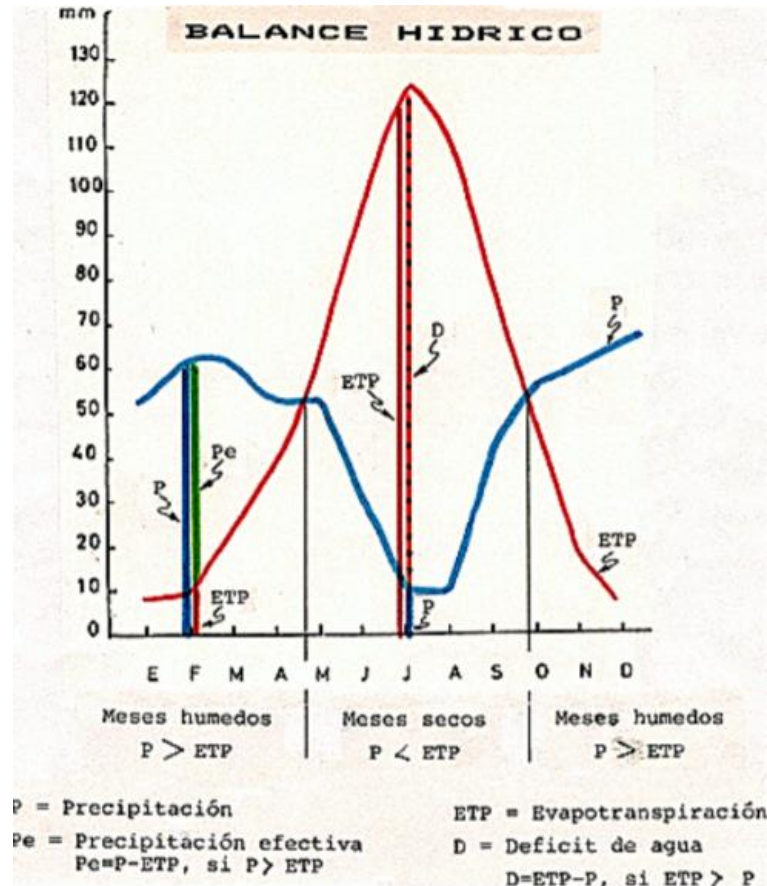
Es decir:

$$E - S = \pm \Delta A \quad (24)$$

La cantidad de agua en un lugar en particular se puede calcular en términos generales por medio del concepto del balance hídrico, de acuerdo con el cual el volumen de agua en cualquier punto de un sistema hidrológico se considera la diferencia entre el caudal entrante (aferente) y el caudal saliente (eferente) del sistema y el cambio resultante en la cantidad de agua almacenada.

En otras palabras, el caudal entrante menos el caudal saliente equivale al cambio de almacenamiento.

FIGURA 13. BALANCE HÍDRICO



Fuente: Balance Hídrico y Recarga de Acuíferos, Schulz & García (2015)

2.1.7.1 Variables

P = Precipitación (mensual, media mensual) en

ETP = Evapotranspiración de referencia (potencial calculada, mensual, media mensual) en (mm/día)

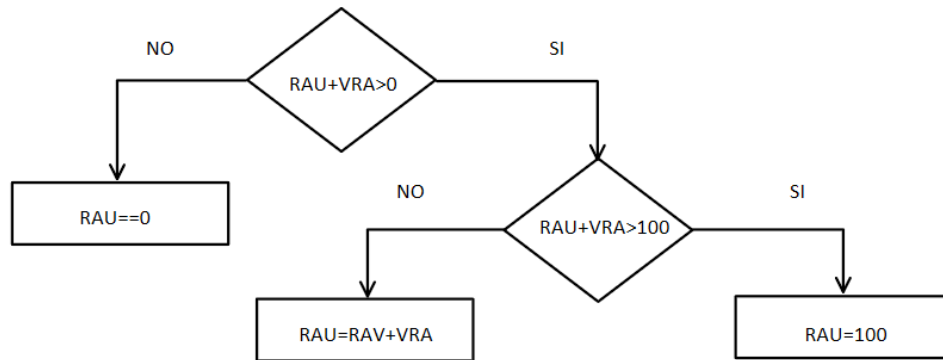
VRA = Volumen Real de Agua

$$VRA = P - ETP \quad (25)$$

RAU= Reserva de Agua Utilizada =100 mm como reserva máxima

A continuación, se exponen diagramas de flujo para el cálculo del balance hídrico:

FIGURA 14. CÁLCULO DE LA RESERVA DE AGUA UTILIZADA (RAU)



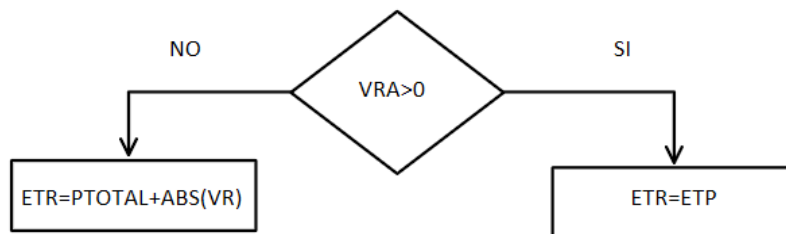
Fuente: Apuntes Ing. Soliz (2018)

VR = Volumen de reserva

$$VR = R - R_{ANTERIOR} \quad (26)$$

ETR= Evapotranspiración real

FIGURA 15. CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL (ETR)

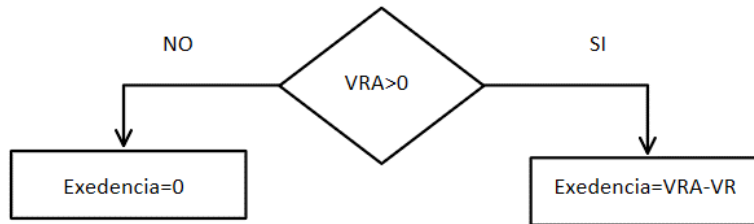


Fuente: Apuntes Ing. Soliz (2018)

Déficit = ETR-ETP

Excedencia

FIGURA 16. CÁLCULO DE EXCEDENCIA



Recarga

$$Recarga = 0.5 * (Recarga anterior + Exedente actual) \quad (27)$$

Coeficiente de escorrentía: C

$$C = \frac{Excedencia}{P_{TOTAL}} \quad (28)$$

2.1.8 Métodos probabilísticos utilizados en hidrología

En estadística existen muchas funciones de distribución de probabilidad teóricas, las funciones de distribución de probabilidad teóricas más usadas en hidrología son las siguientes:

2.1.8.1 Distribución Normal

Se dice que una variable aleatoria X tiene una distribución normal, cuando su función de densidad de probabilidad es:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}S} e^{\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\bar{X}}{S}\right)^2\right]} \quad (29)$$

Donde:

$f(x)$ = Función de densidad normal de la variable x

$x =$ Variable independiente

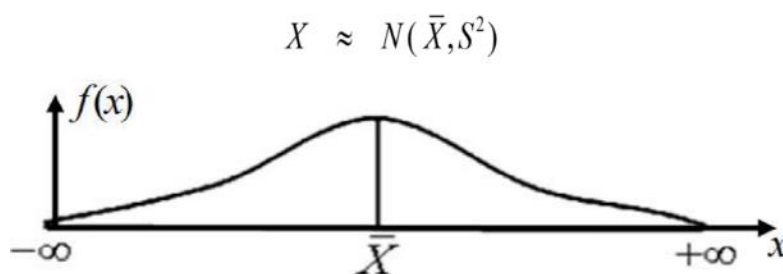
$X =$ Parámetro de localización, igual a la media aritmética de x

$S =$ Parámetro de escala igual a la desviación estándar de x

$e =$ Base del logaritmo neperiano

Cuando la variable aleatoria se distribuye normalmente con media X y varianza S^2 , se denota de la siguiente forma:

FIGURA 17. FUNCIÓN DE DENSIDAD DE LA DISTRIBUCIÓN NORMAL



Fuente: Texto Alumno de Hidrología, Agustín & Weimar (2009)

$$Z = \frac{x - \bar{X}}{S} \quad (30)$$

Donde la función de densidad de Z es denominada función de densidad de la distribución normal estándar o estandarizada, que tiene la siguiente expresión.

$$f(Z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}S} e^{\left[-\frac{Z^2}{2}\right]} \quad (31)$$

a) Sus aplicaciones en la hidrología

El ajuste de distribución empírica de variables hidrológicas medias anuales, mensuales, estacionales y otros, o también variables acumuladas anuales, mensuales y otros, que pueden ser caudales precipitación, temperatura, entre otros.

Como referencia para comparar varias distribuciones teóricas de ajuste con una distribución empírica.

Análisis de errores aleatorios en las observaciones o mediciones hidrológicas.

Para aplicar inferencia estadística.

2.1.8.2 Distribución Gumbel

La distribución Gumbel es también llamada distribución de Valores Extremos Tipo I o distribución doble exponencial. Se dice que una variable aleatoria X tiene una distribución Gumbel, cuando su función de densidad de probabilidad se define como:

$$f(x) = \frac{1}{\alpha} e^{-\frac{x-\mu}{\alpha}} e^{-\frac{x-\mu}{\alpha}} \quad (32)$$

Donde:

$f(x)$ = Función de densidad de Gumbel de la variable x

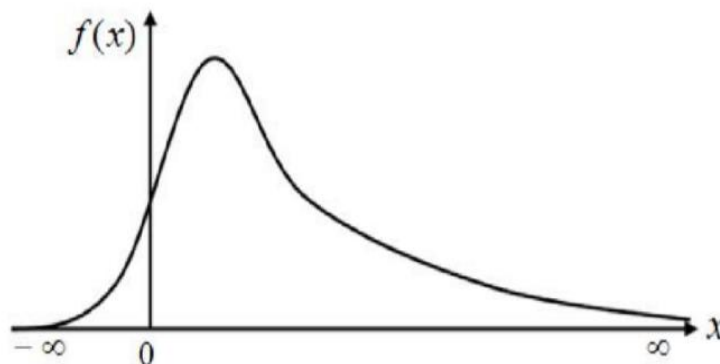
x = Variable independiente

α = Es el parámetro de escala

μ = Es el parámetro de posición, también llamado moda.

e = Base del logaritmo neperiano

FIGURA 18. FUNCIÓN DE DENSIDAD DE LA DISTRIBUCIÓN GUMBEL



Fuente: Texto Alumno de Hidrología, Agustín & Weimar (2009)

La función de distribución acumulada de la distribución Gumbel es:

$$F(x) = e^{-e^{-\frac{x-\mu}{\alpha}}} \quad (33)$$

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} S \approx 0.78S \quad (34)$$

$$\mu = \bar{X} - 0.57721\alpha \quad (35)$$

Donde:

$F(x)$ = Función de distribución acumulada de la ley Gumbel

X = Parámetro de la media

S = Desviación estándar de la muestra

a) Sus aplicaciones en la hidrología

Realiza ajustes de distribución empíricas de variables hidrológicas tales como valores de caudales máximos anuales, mensuales o precipitaciones máximas anuales, entre otros.

Como referencia para comparar varias distribuciones teóricas de ajuste con una distribución empírica se efectuará inferencias estadísticas.

2.2 SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

2.2.1 Definición

“Los SIG son ante todo herramientas de ayuda en la resolución de problemas. De forma general, están compuestos por un conjunto de metodologías, procedimientos y programas informáticos especialmente diseñados para manejar información geográfica y datos temáticos asociados. El concepto de herramienta hace referencia a que el SIG no es el fin, sino el medio, ya que es una herramienta utilizada para preparar

y presentar hechos que ocurren sobre la superficie terrestre, así que no debemos especializarnos en saber manejar un programa informático, sino en saber cómo aplicar su potencialidad para nuestro beneficio.” (Instituto Geográfico Agustín Codazzi)

2.2.2 Origen

Para algunos autores, el origen de los SIG está relacionado con la aparición de las técnicas cartográficas (Ruiz, 1995). Sin embargo, se puede afirmar que el inicio de los SIG tiene estrecha relación con el propio desarrollo de la informática en los años 60, especialmente con los aspectos de software, hardware (Brown y Lomolino, 1998) y el cambio del formato analógico (topografía convencional). (Sitjar, 2008)

2.2.3 Alcances de un SIG

- a) Realizar un gran número de manipulaciones, sobresaliendo las superposiciones de mapas, transformaciones de escala, la representación gráfica y la gestión de base de datos.
 - b) Consultar rápidamente las bases de datos, tanto espacial como alfanumérica, almacenadas en el sistema.
 - c) Realizar pruebas analíticas rápidas y repetir modelos conceptuales en despliegue espacial.
 - d) Comparar eficazmente los datos espaciales a través del tiempo (análisis temporal).
 - e) Efectuar algunos análisis, de forma rápida qué hechos manualmente resultarían largos y molestos.
 - f) Integrar en el futuro, otro tipo de información complementaria que se considere relevante y qué es que esté relacionada con la base de datos nativa u original.
- (Dominguez & Leticia, 2011)

2.2.4 Funcionamiento de un SIG

a) Mapas

Los mapas son el contenedor geográfico para las capas de datos y análisis con los que quieras trabajar. Los mapas SIG se pueden compartir en aplicaciones y son accesibles para todos, desde cualquier lugar.

b) Datos

SIG integra diversos tipos de capas de datos que utilizan la ubicación espacial. La mayoría de los datos tienen un componente geográfico. Los datos SIG incluyen imágenes, atributos y mapas base vinculados a hojas de cálculo y tablas.

c) Análisis

El análisis espacial permite realizar evaluaciones en términos de adecuación y capacidad, estimar y predecir, interpretar y comprender, ofreciendo nuevas perspectivas a tu conocimiento y toma de decisiones.

d) Aplicaciones

Las aplicaciones proporcionan experiencias de usuario focalizadas para trabajar y hacer que los SIG estén disponibles para todos. Funcionan en cualquier dispositivo: en teléfonos móviles, tabletas, buscadores web y computadoras de escritorio.

2.2.5 Tipos de Formatos

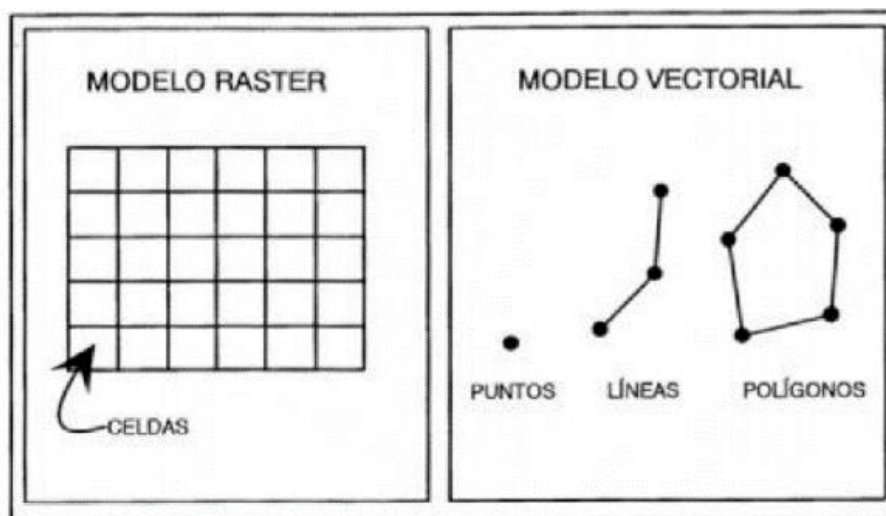
a) Información vectorial

La información se representa mediante puntos, líneas y polígonos, se almacena como una colección de coordenadas x, y. La ubicación de una característica puntual, pueden describirse con un solo punto x, y. Las características lineales, pueden almacenarse como un conjunto de puntos de coordenadas x, y. Las características poligonales, pueden almacenarse como un circuito cerrado de coordenadas.

b) Información ráster

La información ráster funciona a través de una retícula que permite asociar datos a una imagen; es decir, se puede relacionar paquetes de información a los pixeles de una imagen digitalizada, conocida como grid.

FIGURA 19. MODELO RÁSTER Y MODELO VECTORIAL



Fuente: Sastre, P (2010)

2.2.6 Uso de los SIG en Ingeniería Civil

En la actualidad hay muchos campos de la Ingeniería Civil donde los Sistemas de Información Geográfica están siendo empleados como herramienta para analizar, diseñar e implementar soluciones efectivas y eficientes. En este sentido las aplicaciones de los SIG en la ingeniería civil se han desarrollado en materia de hidrología, recursos hídricos, el transporte, topografía, medio ambiente y otros.

2.2.7 Herramientas Desarrolladas para Casos Específicos

Gracias a los Sistemas de Información Geográfica juntamente con diferentes áreas como es la hidrología, se han podido realizar estudios de caso alrededor del mundo, entre los que se encuentran:

Jenness et al. (2007) desarrollan una herramienta de base de datos de los recursos hídricos africanos que es un diseño combinada con los Sistemas de Información Geográfica (SIG) destinada a facilitar la gestión de los recursos acuáticos continentales y la agricultura con un enfoque en la pesca continental y la agricultura, bajo las recomendaciones de Committe for Inland Fisheries of Africa (CIFA)

(Valtierra, 2007) Desarrolla una herramienta computacional para el diagnóstico hidrológico de cuencas, específicamente para obtener la caracterización hídrica del PRPC (Plan Rector de Producción y Conservación), dicha herramienta (DetermHidro) funciona como una extensión de ArcView 3.x.

(Montoya, 2018) desarrolla un modelamiento hidrológico para el cálculo de caudales empleando tecnologías de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para la cuenca del Rio Choqueyapu- La Paz.

(Ticona M, Patricia, 2018) desarrolla un software para la obtención automática del número hidrológico de curva (CN) mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) aplicado a las cuencas de las presas de Chacaltaya, Alpaquita y Pampalarama- La Paz.

2.3 PROGRAMACIÓN EN PYTHON

2.3.1 Python como lenguaje de script

Python es un lenguaje multiplataforma, esto quiere decir, que está pensado para que pueda utilizarse en una gran variedad de sistemas operativos (Windows, Mac, Linux, etc). Las dos convenciones mencionadas le permiten a distintos sistemas “darse cuenta” que este archivo en particular lo tiene que procesar con Python. En particular, Windows, tradicionalmente, sólo se fija en la extensión del archivo para saber cómo procesarlo (por eso el .py), mientras que todos los sistemas derivados de Unix (OS X, Linux, Solaris, etc) analizan los permisos del archivo (en particular, el permiso de

ejecución) y los primeros caracteres, para saber como procesarlos (por ello es necesario incluir esa primera línea mágica).

Con Python se accede al objeto de alto nivel Geoprocessor, lo que nos permite utilizar en scripts o macros cualquiera de las herramientas con las que cuenta ArcToolBox o en Model Builder. Disponible en ArcGIS Desktop. Es fácil de aprender, muy útil para crear procesos batch, aunque no es adecuado para crear grandes programas, falta de integración con interfaces gráficas, esta orientado a objetos, es interpretado y tiene una semántica dinámica.

2.3.2 Ventajas del Python

- a) Un lenguaje fácil e intuitivo tan poderoso como los de los principales competidores.
- b) Es un código abierto, para que cualquiera pueda contribuir a su desarrollo.
- c) Ofrece un ambiente de desarrollo con herramientas de corregir errores
- d) Adecuado para tareas cotidianas, permitiendo tiempos de desarrollo cortos.

2.3.3 Construcción de programas

Para realizar un programa debemos seguir una cierta cantidad de pasos para asegurarnos de que tendremos éxito en la tarea. La acción irreflexiva (me piden algo, me siento frente a la computadora y escribo rápidamente y sin pensarlo lo que me parece que es la solución) no constituye una actitud profesional (e ingenieril) de resolución de problemas. Toda construcción tiene que seguir una metodología, un protocolo de desarrollo y que se puede resumir en los siguientes pasos:

- a) Analizar el problema. Entender profundamente cuál es el problema que se trata de resolver, incluyendo el contexto en el cual se usará.

- b) Especificar la solución. Éste es el punto en el cual se describe qué debe hacer el programa, sin importar el cómo. En el caso de los problemas sencillos que abordaremos, deberemos decidir cuáles son los datos de entrada que se nos proveen, cuáles son las salidas que debemos producir, y cuál es la relación entre todos ellos.
- c) Diseñar la solución. Éste es el punto en el cuál atacamos el cómo vamos a resolver el problema, cuáles son los algoritmos y las estructuras de datos que usaremos. Analizamos posibles variantes, y las decisiones las tomamos usando como dato de la realidad el contexto en el que se aplicará la solución, y los costos asociados a cada diseño.
- d) Implementar el diseño. Traducir a un lenguaje de programación (en nuestro caso, y por el momento, Python) el diseño que elegimos en el punto anterior.
- e) Probar el programa. Diseñar un conjunto de pruebas para probar cada una de sus partes por separado, y también la correcta integración entre ellas. Utilizar el depurador como instrumento para descubrir dónde se producen ciertos errores.
- f) Mantener el programa. Realizar los cambios en respuesta a nuevas demandas.

INGENIERÍA DE PROYECTO



CAPÍTULO 3

INGENIERÍA DE PROYECTO

En este capítulo se detalla la información necesaria para realizar un procedimiento de cálculos a través de la Hidrología clásica, uso de herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y el entorno Python para programar el modelo de evapotranspiración, escurrimiento y balance hídrico. Figura 22, simulando la distribución espacial de estas variables, en el cual se recabaron diferentes tipos de información para su respectivo procesamiento que se detallan a continuación:

Se recabo los datos de precipitación media (mm), datos de temperatura media, máxima y mínima (°C) de las estaciones cercanas al área de estudio, sin embargo, al ser una cuenca de menor área, se pudo tomar de referencia la estación Tiahuanaco y la estación Jiwacuta, otras características importantes a tomar en cuenta fueron las imágenes satelitales, Landsat y datos en formatos ráster de temperatura, precipitación.

Para la obtención de estas variables se empleó la hidrología clásica para posteriormente crear un entorno de automatización mediante el lenguaje de programación Python para hallar la evapotranspiración, escurrimiento y balance hídrico.

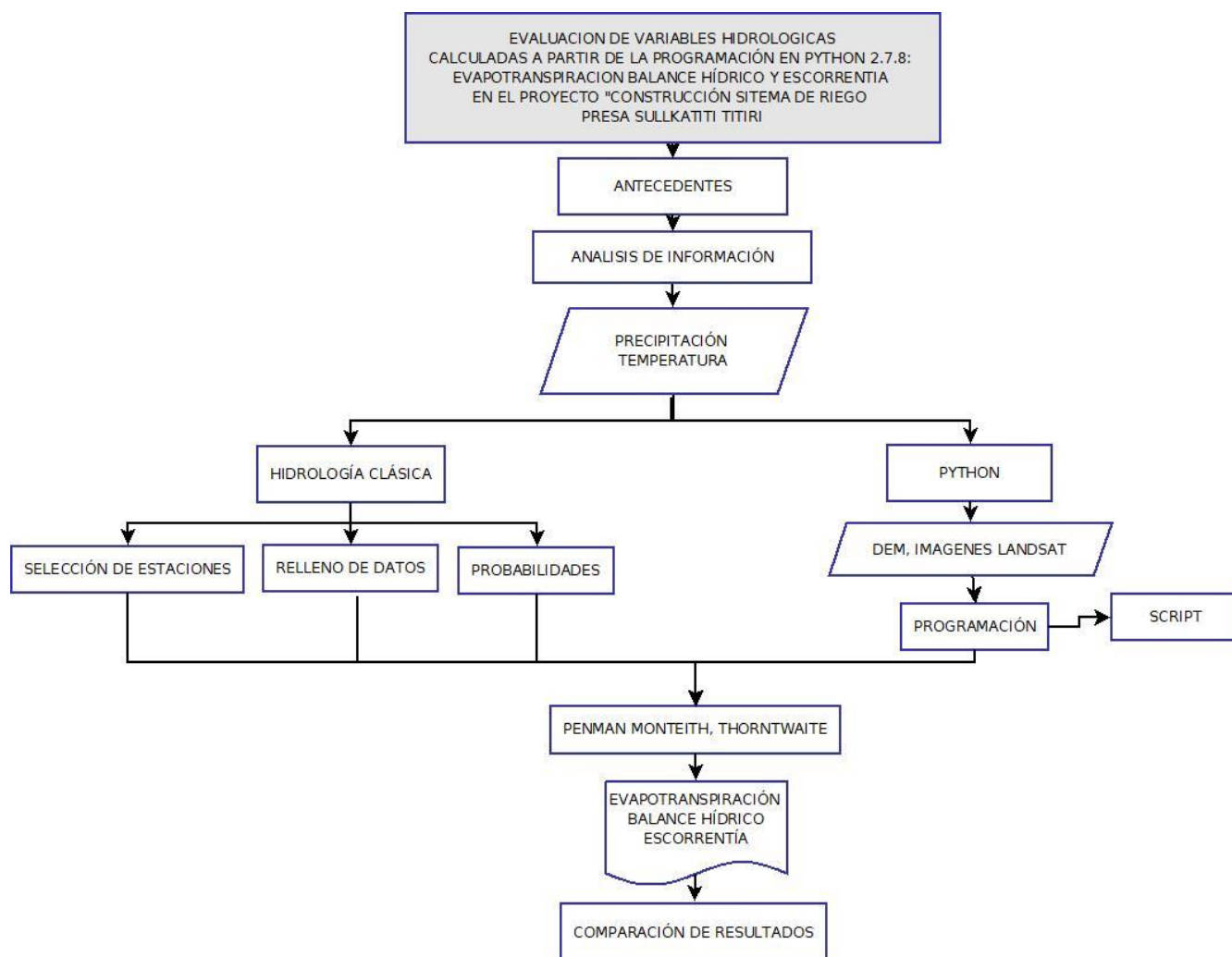
Al utilizar este lenguaje de programación se recurrió a elaborar un script (archivo de órdenes de programación), convirtiendo un algoritmo unidimensional en un análisis geoespacial tridimensional.

Este Trabajo de Grado presentó una metodología, basada en Sistemas de Información Geográfica al tener datos geoespaciales con el fin de brindar una herramienta útil a la ingeniería para que la determinación de la evapotranspiración, escurrimiento y balance hídrico sea más sencilla, rápida y precisa; además a partir de estos resultados se

podrán hacer obras y diseños que se planteen a futuro, además tiene ventaja de ser mucho más rápido y económico ya que al utilizar esta automatización de procesos el cálculo de las variables es un proceso rápido que tiene un ahorro considerable de tiempo.

El proyecto Sistema de Riego Presa Sullkatiti Titiri cuenta con una categoría III, de acuerdo con la legislación aplicable en Bolivia que radica sobre todo en la Ley 1333, Ley General del Medio Ambiente.

FIGURA 20. DIAGRAMA: ALCANCE DE OBJETIVOS ESPECÍFICOS



Fuente: Elaboración propia (2020)

3.1 ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

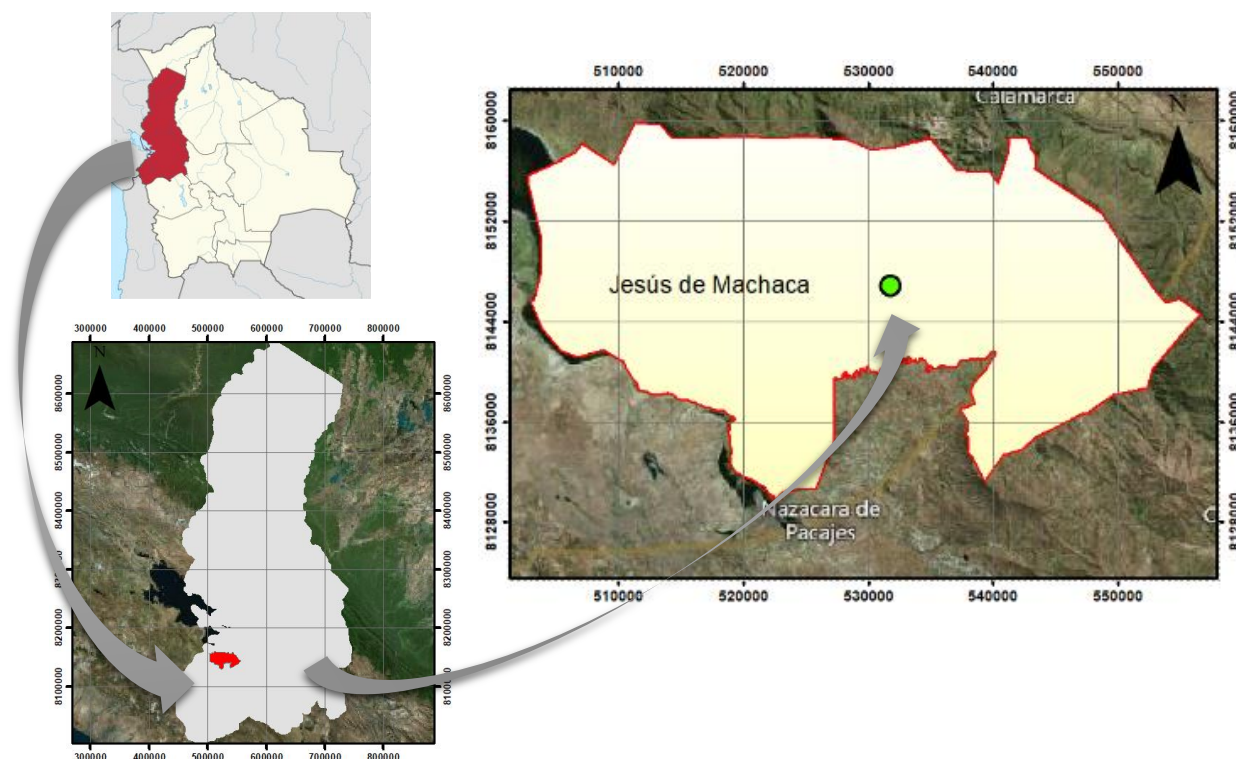
La información que se recopiló:

- a) Datos climáticos y de precipitación de las estaciones: Jihuacuta y Tiwanaku.
- b) Información cartográfica, que incluye: mapas geológicos, cobertura vegetal y otros.
- c) Modelo de elevación digital
- d) Imágenes Landsat

3.1.1 Cuenca

3.1.1.1 Ubicación del Proyecto

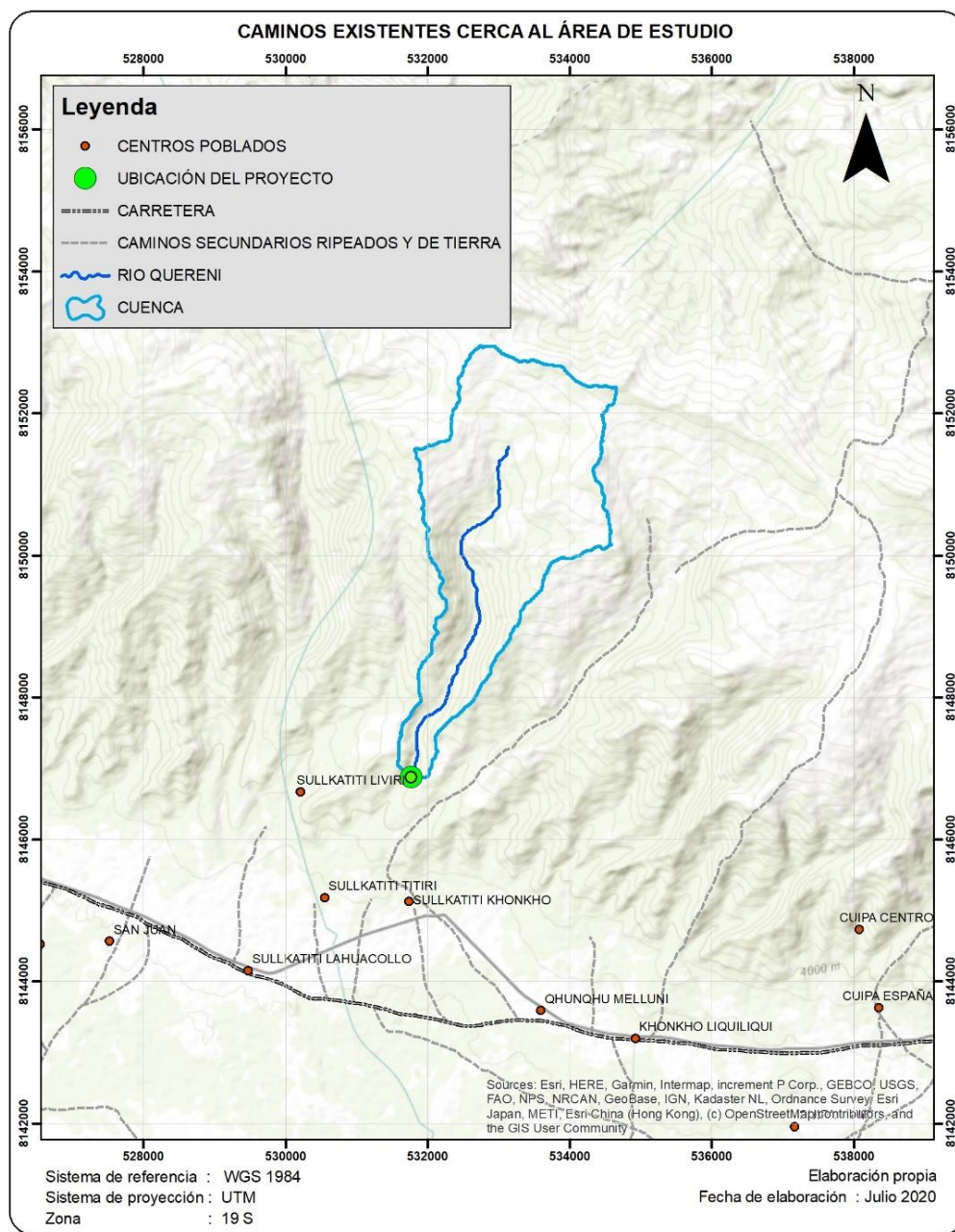
FIGURA 21. UBICACIÓN DE LA ZONA DEL PROYECTO



Fuente: Elaboración propia (2020)

El proyecto se encuentra ubicado en los ayllus Sullkatiti Titiri y Qhunqhu Melluni, pertenecientes al municipio Jesús de Machaca, provincia Ingavi, departamento de La Paz. El municipio Jesús de Machaca se encuentra aproximadamente a 120 km de la ciudad de La Paz, con una altitud promedio de 4955 m.s.n.m. En la figura 22 se presenta los caminos existentes cerca al área de estudio por ejemplo la carretera 43.

FIGURA 22. CAMINOS EXISTENTES CERCA AL ÁREA DE ESTUDIO



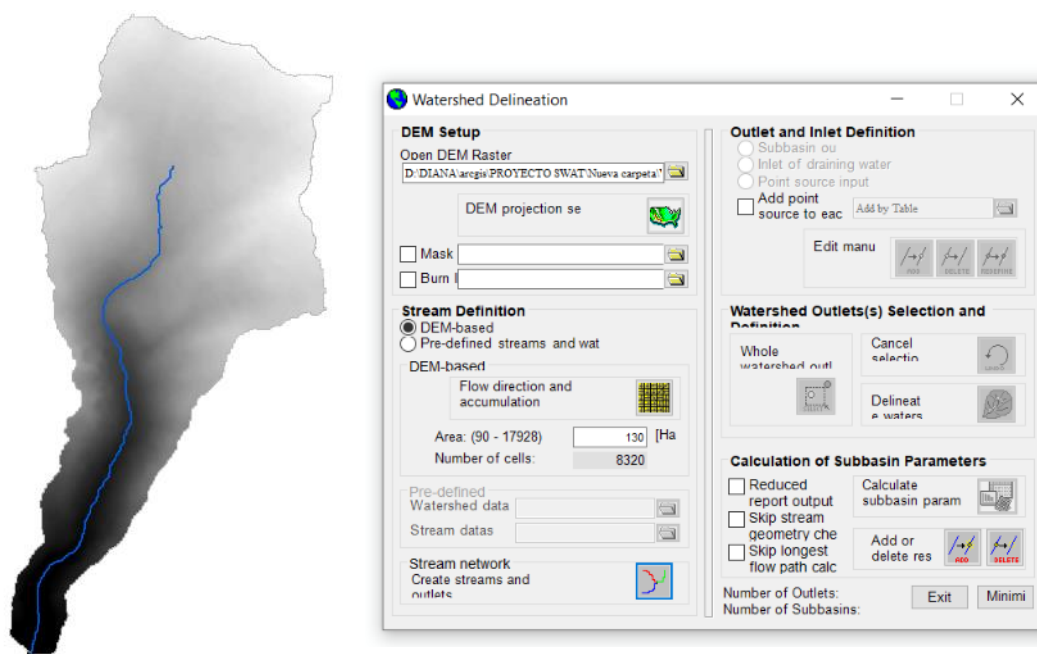
Fuente: Elaboración propia (2020)

3.1.1.2 Delimitación

La delimitación de cuencas es proceso imprescindible para el análisis hidrológico. El SIG cuenta con extensiones como el ARCSWAT para delimitación de cuencas y características del terreno.

Estos parámetros fueron determinados a partir de imágenes satelitales y cartas geográficas con un sistema de información geográfica ARCGIS.

FIGURA 23. DELIMITACIÓN DE CUENCA CON ARCSWAT



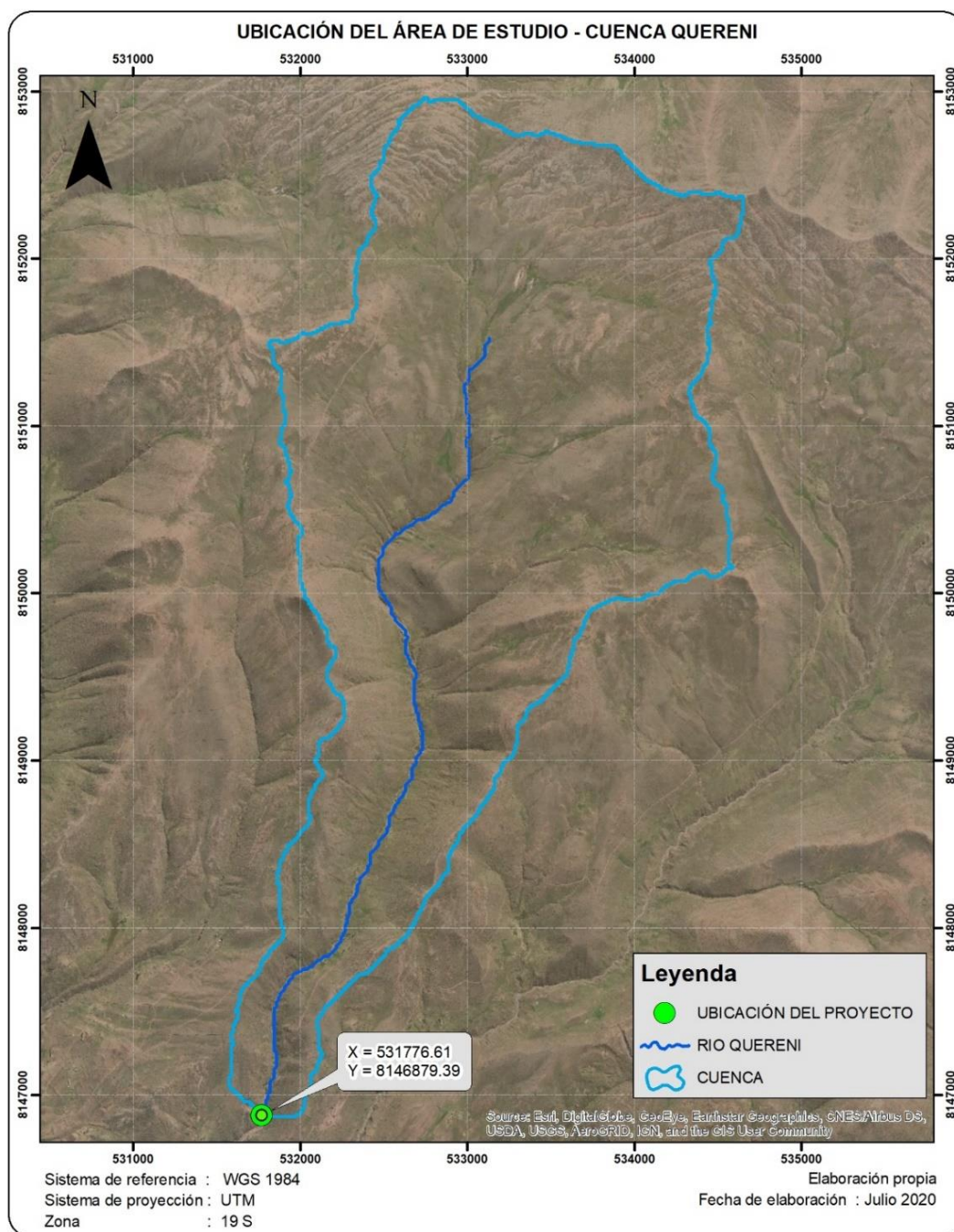
Fuente: Elaboración propia

3.1.1.3 Tipo de suelo y cobertura vegetal

El área de estudio presenta un marco geológico simple, gran parte del área está ocupada por afloramientos de la formación Tiwanaku de edad Terciaria que constituye el basamento compacto del área, supra yacen los detritos cuaternarios de origen glacial, segundos en importancia geotécnica, además existe tres tipos de materiales: rocas y pedrones (piedra manzana), gravas y arenas, limos y arcillas.

No existe presencia de bosque primario ni secundario, siendo toda la cobertura vegetal de paja brava, las zonas actualmente cultivadas comprenden cultivos agrícolas. Ver anexos

FIGURA 24. UBICACIÓN DE LA CUENCA DEL ÁREA DE ESTUDIO



Fuente: Elaboración propia (2020)

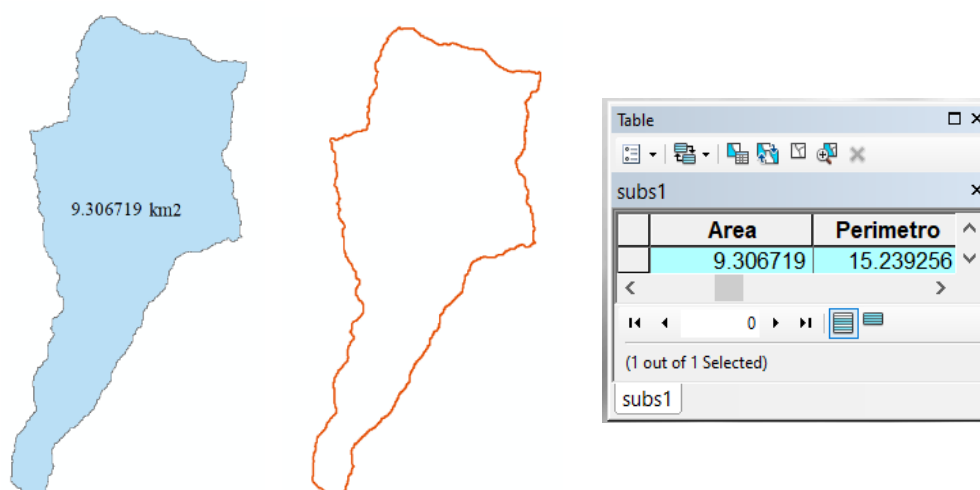
3.1.1.4 Parámetros Morfométricos

Los parámetros geomorfológicos de la cuenca determinan las características de escurrimiento superficial de las aguas que provienen de eventos lluviosos; estos parámetros son los siguientes:

a) Área y perímetro de la cuenca

Para determinar el área y perímetro de la cuenca se estableció la ubicación con sus respectivas coordenadas. Para el efecto se utilizó el modelo de elevación digital teniendo un área igual a 9.31km² y un perímetro igual a 15.24 km como se muestra en la figura 25.

FIGURA 25. ÁREA Y PERÍMETRO DE LA CUENCA

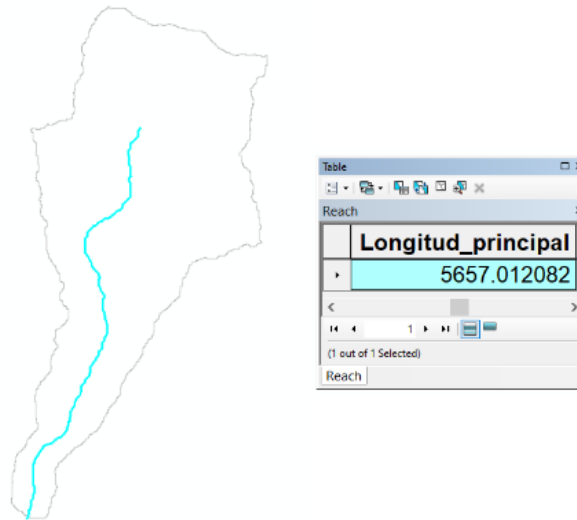


Fuente: Elaboración propia (2020)

b) Longitud del cauce principal

La longitud del cauce principal se determinó en base al inicio de la coordenada de la ubicación de la presa, teniendo una longitud igual a 5.66 km, este valor fue necesario para determinar la pendiente del río y el tiempo de concentración de la cuenca.

FIGURA 26. LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL (m)

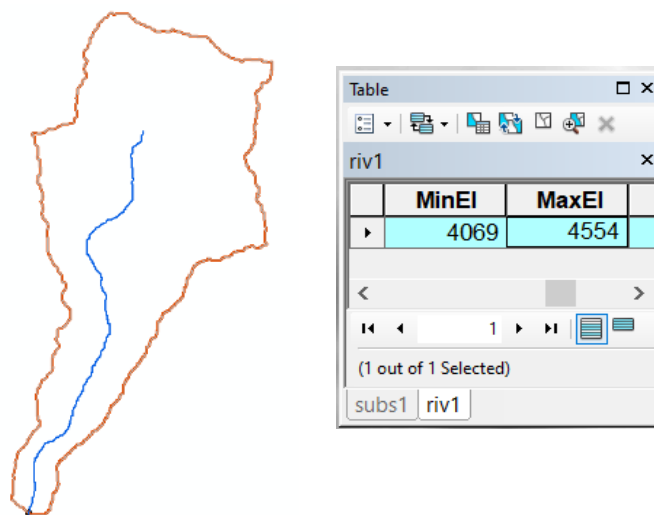


Fuente: Elaboración propia (2020)

c) Cota superior e inferior del cauce principal

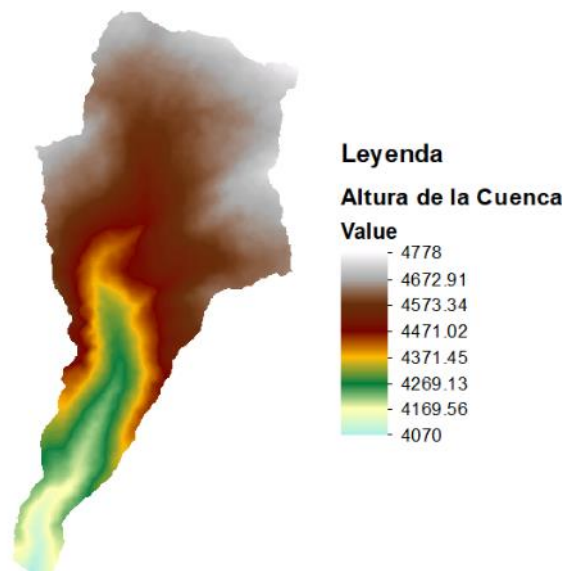
Las cotas superior e inferior son valores necesarios para determinar la pendiente de la cuenca y/o del cauce principal los cuales se determinaron en base a modelos digitales del terreno. Estos valores se indican en el cuadro de características geomorfométricos de las cuencas. (Tabla 2)

FIGURA 27. ALTURA MÁXIMA Y MÍNIMA DEL CAUCE PRINCIPAL



Fuente: Elaboración propia (2020)

FIGURA 28. ALTURA MÁXIMA Y MÍNIMA DE LA CUENCA



Fuente: Elaboración propia (2020)

d) Pendiente del cauce principal

El conocimiento de la pendiente del cauce principal de la cuenca es un parámetro importante, en el estudio del comportamiento del recurso hídrico. En general la pendiente de un tramo de un cauce de un río se puede considerar como el cociente, que resulta de dividir, el desnivel de los extremos del tramo, entre la longitud horizontal de dicho tramo.

e) Pendiente de la cuenca

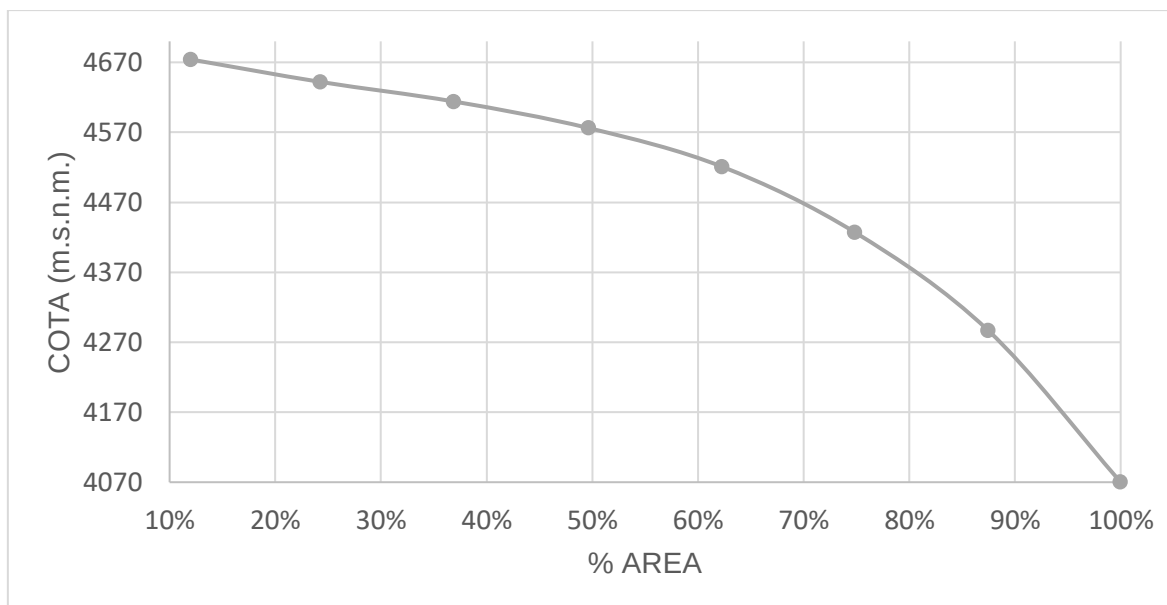
Tiene una relación importante y compleja con la infiltración, la escorrentía superficial, la humedad del suelo y la contribución del agua subterránea a la escorrentía. Es uno de los factores, que controla el tiempo de escurrimiento y concentración de la lluvia y tiene una importancia directa con relación a la magnitud de las crecidas.

Otras características que se determinaron en la cuenca hidrográfica y sus elementos fueron los siguientes:

f) Curva hipsométrica

De acuerdo con el análisis de la curva hipsométrica de la cuenca en estudio, se puede concluir que es una cuenca joven.

FIGURA 29. CURVA HIPSONÉTICA



Fuente: Elaboración propia (2020)

g) Factor de forma

Se tiene un valor igual a 0.29 valor que representa una menor tendencia de crecidas, teniendo la forma de una cuenca alargada.

$$Ff = \frac{A}{L^2}$$
$$Ff = \frac{9.31 \text{ km}^2}{(5.66 \text{ km})^2}$$
$$Ff = 0.29$$

h) Índice de Compacidad

Posee un coeficiente adimensional igual a 1.40 teniendo una forma oval redonda a oval oblonga.

$$K_G = 0.28 \frac{P}{\sqrt[2]{A}}$$

55

$$K_G = 0.28 \frac{15.24 \text{ km}}{\sqrt[2]{9.31 \text{ km}^2}}$$

$$K_G = 1.40$$

i) Tiempo de concentración

El tiempo de concentración se obtuvo por diferentes métodos, pero el que se utilizó para nuestra área de estudio fue el de Kirpich al tener una pendiente igual a 8.57% y ser una área rural dedicado al cultivo.

TABLA 2. CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS DE LA CUENCA

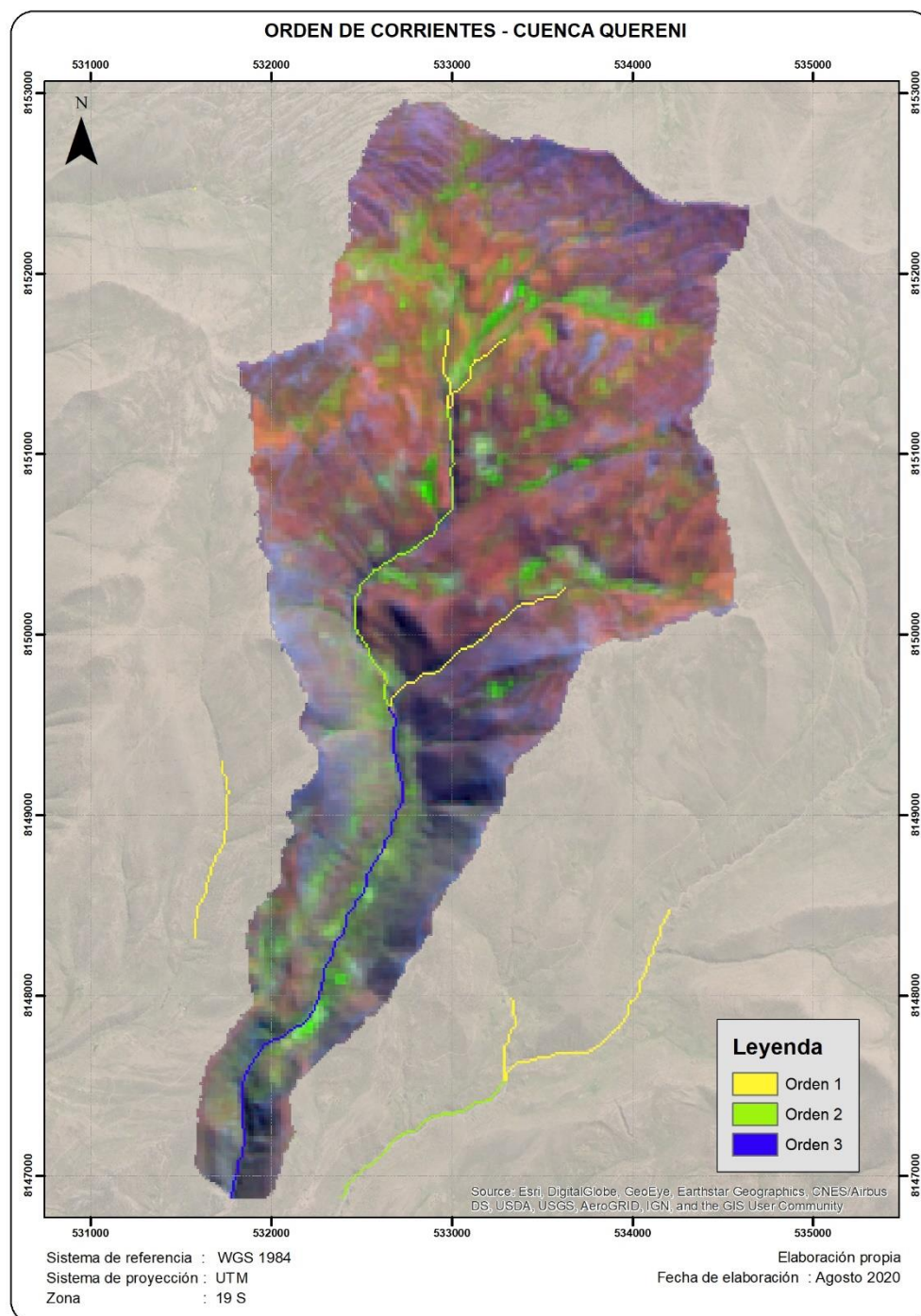
ÍTEM	CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS DE LA CUENCA	VALOR	
1	ÁREA DE LA CUENCA	9.31	km ²
2	PERÍMETRO DE LA CUENCA	15.24	km
3	LONGITUD DEL CURSO PRINCIPAL	5.66	km
4	ALTURA MÁXIMA DE LA CUENCA	4778.00	m.s.n.m.
5	ALTURA MÍNIMA DE LA CUENCA	4070.00	m.s.n.m.
6	ALTURA MÁXIMA DEL RIO	4554.00	m.s.n.m.
7	ALTURA MÍNIMA DEL RIO	4069.00	m.s.n.m.
8	ÍNDICE DE COMPACIDAD	1.40	
9	LADO MAYOR RECTÁNGULO EQUIVALENTE	6.10	km
10	LADO MENOR RECTÁNGULO EQUIVALENTE	1.53	km
11	RADIO DE ELONGACIÓN	0.56	
12	FACTOR DE FORMA	0.25	
13	ÍNDICE DE PENDIENTE	11.61	
14	PENDIENTE MEDIA DEL RIO	8.57	%
15	ALEJAMIENTO MEDIO	2.00	
16	DESNIVEL ENTRE COTA MÁXIMA RÍO Y PUNTO DE CONTROL	485.00	m
17	PENDIENTE MEDIA DEL RÍO Ir (m/m)	0.09	m/m
18	DESNIVEL ENTRE COTA MÁXIMA DE LA CUENCA Y EL PUNTO DE CONTROL	708.00	m
19	TIEMPO DE CONCENTRACIÓN: PASSINI	1.02	h
20	TIEMPO DE CONCENTRACIÓN: GIANDOTTI	0.97	h
21	TIEMPO DE CONCENTRACIÓN: SOIL S.C.S	0.65	h
22	TIEMPO DE CONCENTRACIÓN: KIRPICH	0.65	h
23	TIEMPO DE CONCENTRACIÓN: ISOCRONAS	0.74	h

Fuente: Elaboración propia (2020)

j) Orden de corrientes

El orden de corrientes según el criterio de Shreve donde la numeración de las corrientes inicia en 1 y llegó a tener un drenaje de orden 3, esto nos indica que nuestra cuenca no está muy ramificada.

FIGURA 30. ORDEN DE CORRIENTE



3.1.2 Hidrometeorología

3.1.2.1 Selección de Estaciones

En la Tabla 3 podemos observar las estaciones aledañas a la presa Sullkatiti Tititri.

TABLA 3. ESTACIONES CERCANAS A LA CUENCA

ESTACIÓN	ALTURA	XCOOR	YCOOR	SISTEMA DE REFERENCIA	SISTEMA DE PROYECCIÓN	ZONA
JIHUACUTA	3912	535981.29	8136116.69	WGS 1984	19 SUR	19 SUR
TIWANAKU	3863	534316.75	8168138.88			

Fuente: Elaboración propia (2020)

TABLA 4. DISTANCIA DE LAS ESTACIONES CERCANAS AL ÁREA DE ESTUDIO

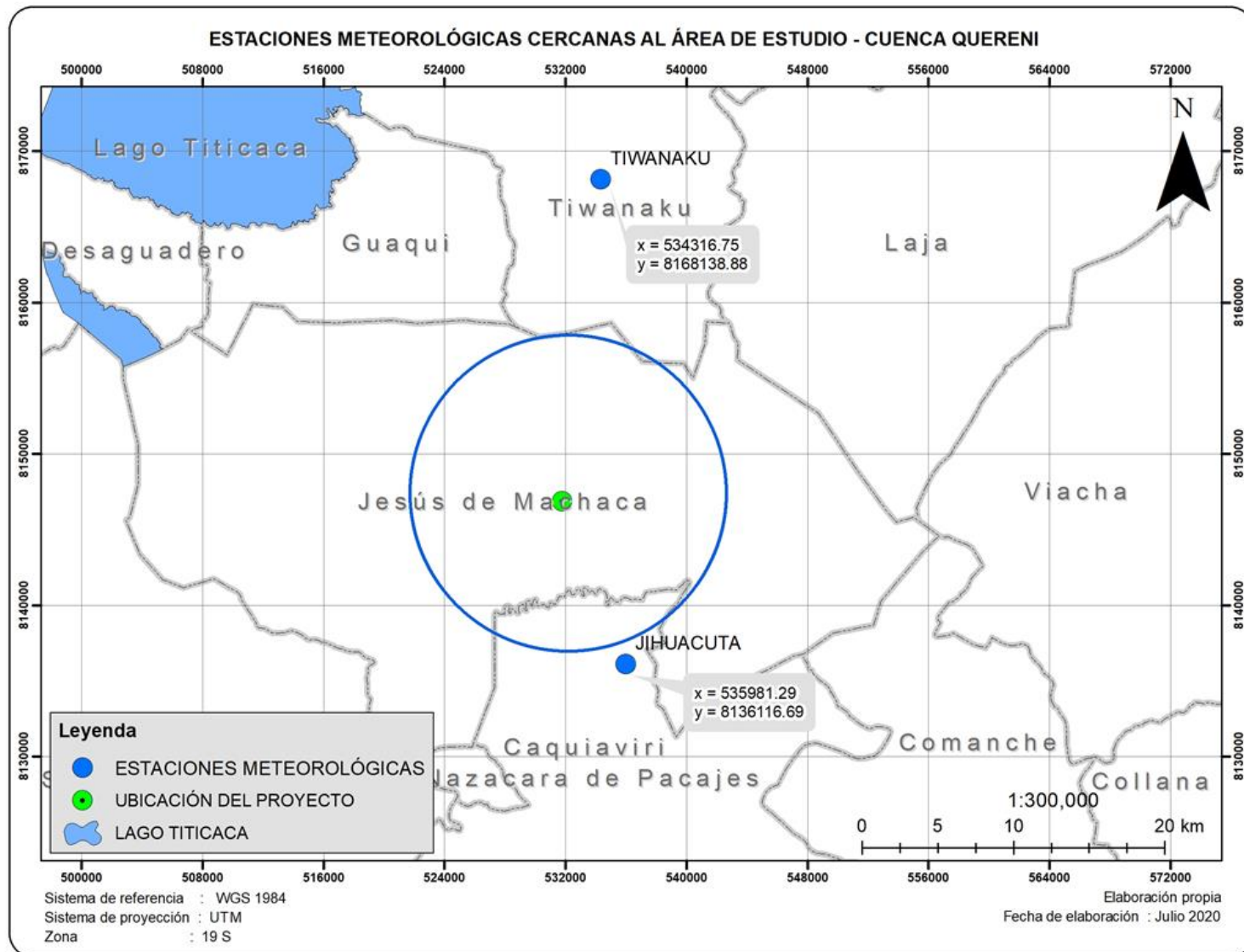
DISTANCIA ENTRE ESTACIÓN Y ÁREA DE ESTUDIO		
JIHUACUTA	PRESA	3912 m
TIWANAKU	PRESA	3863 m

Fuente: Elaboración propia (2020)

En primer lugar, la estación más cercana al área de estudio es la estación Jiwacuta como se observa en la Tabla 3, que tiene los datos de precipitación desde el año 1993 al 2019, sin embargo, para poder continuar con el análisis se necesita utilizar otra estación que tenga una mayor cantidad de datos de precipitación y temperatura.

La estación de Tiwanaku cuenta con los datos de precipitación y temperatura desde el año 1974 al 2016, por este motivo se hizo un diagrama de masas para su correlación de datos.

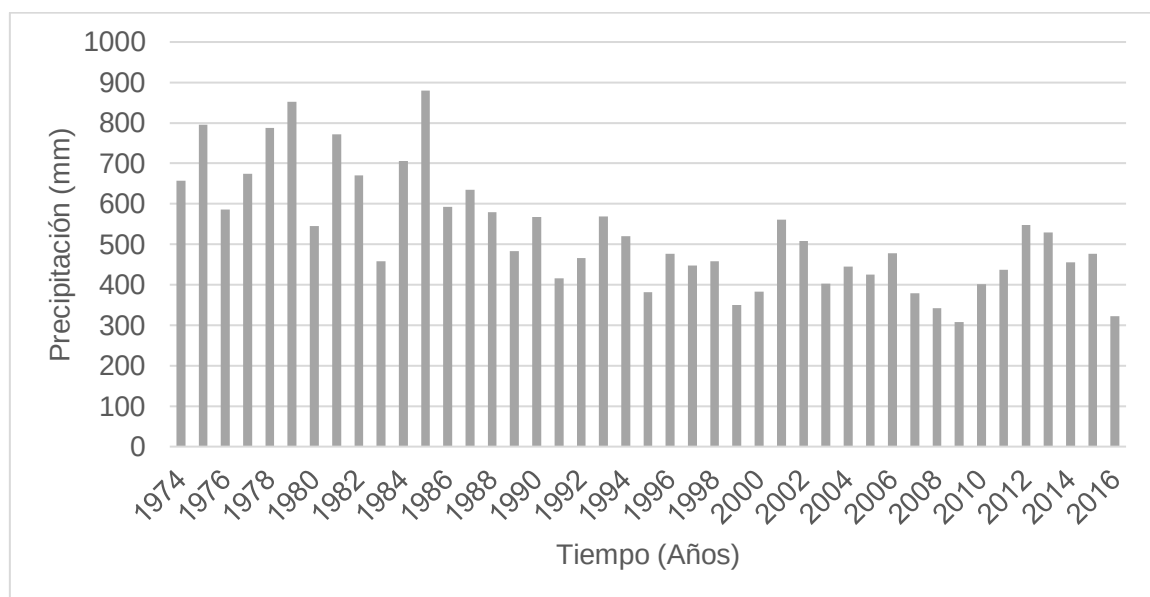
FIGURA 31. ESTACIONES CERCANAS A LA ZONA DEL PROYECTO



3.1.2.2 Precipitación

La distribución de la precipitación en el municipio se caracteriza por una estacionalidad marcada irregularmente. El período lluvioso más intenso se produce durante 6 meses del año (octubre a marzo), alcanzando precipitación mensual máxima de 178.4 mm en el mes de enero y el periodo seco, teniendo precipitación mensual mínima de 9.4 mm en el mes de julio. El estudio hidrológico se basa en las precipitaciones totales mensuales de la estación de Tiwanaku, que se encuentra ubicada en una latitud sur de 16°34'07" y longitud oeste 68°40'42" a una altura de 3863 msnm. Se obtuvieron datos de 42 años comprendidos en el periodo de 1974 a 2016, registradas, obteniéndose el promedio de las precipitaciones para los datos faltantes (Anexo A).

FIGURA 32. PRECIPITACIÓN TOTAL (mm)



Fuente: Elaboración propia (2020)

TABLA 5. DATOS RELLENADOS DE PRECIPITACIÓN TOTAL (mm)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1974	138.1	143.8	68.8	35.8	0.4	5.2	3.5	84.6	4.8	45.8	36.2	89.7	656.7
1975	246.3	165.0	44.3	5.3	47.7	13.8	3.0	14.5	54.9	40.9	25.3	134.8	795.8
1976	164.9	99.6	55.0	21.5	18.7	0.5	19.5	18.7	87.3	2.1	26.7	71.0	585.5
1977	113.0	131.6	76.3	3.2	15.8	0.0	26.8	2.1	30.8	44.4	103.7	126.3	674.0
1978	218.5	115.8	118.6	26.2	0.0	0.0	0.0	7.9	22.0	6.8	140.9	131.1	787.8
1979	206.4	56.7	170.5	49.9	2.3	0.0	37.8	1.9	14.3	56.2	50.4	205.7	852.1
1980	66.1	67.9	107.0	3.9	0.0	0.2	61.3	29.4	46.4	100.1	21.0	41.6	544.9
1981	130.9	143.9	98.8	95.4	7.8	0.0	0.0	42.2	21.6	84.9	46.2	99.9	771.6
1982	188.1	49.7	122.1	45.5	0.0	1.1	0.0	1.2	52.1	63.6	87.0	59.4	669.8
1983	49.6	59.2	37.7	56.5	33.7	16.7	2.1	24.2	45.6	7.8	44.9	80.0	458.0
1984	243.9	119.3	69.5	30.3	2.0	6.8	5.0	14.9	0.0	41.9	73.4	99.2	706.2
1985	170.2	97.0	95.5	51.6	17.8	18.6	0.3	17.2	60.9	17.0	155.5	178.3	879.9
1986	74.0	123.6	118.8	47.3	18.0	0.0	0.0	5.3	27.5	15.1	64.2	98.9	592.7
1987	240.0	40.3	68.4	26.1	14.7	18.8	18.4	1.3	22.8	82.8	71.0	29.7	634.3
1988	105.2	75.1	155.8	117.0	16.0	0.0	0.0	0.0	14.8	10.0	26.7	58.6	579.2
1989	98.9	81.4	17.0	47.3	3.0	8.3	2.7	7.1	37.0	21.4	44.2	114.3	482.6
1990	136.3	55.3	26.9	20.9	40.0	31.4	0.0	5.3	0.0	11.8	114.5	125.4	567.8
1991	112.5	60.5	116.8	12.4	11.2	15.2	5.3	0.5	0.2	27.4	22.4	31.3	415.7
1992	121.8	84.4	42.6	6.5	0.0	5.1	4.9	34.1	0.9	27.0	66.5	72.3	466.1
1993	143.5	58.7	92.7	17.0	0.3	3.1	0.0	19.6	31.0	53.8	62.7	86.0	568.4
1994	125.9	96.8	51.8	32.0	9.0	2.4	0.0	0.0	8.2	30.6	71.2	91.7	519.6
1995	82.8	57.9	67.6	19.7	0.5	0.0	0.0	7.1	13.9	3.5	41.6	87.6	382.2
1996	129.4	44.7	52.1	40.3	6.4	0.4	6.0	12.4	3.0	20.1	46.3	116.0	477.1
1997	109.5	125.4	52.8	23.3	7.9	0.0	0.0	15.0	26.3	25.7	32.9	29.4	448.2
1998	74.4	122.0	79.8	37.0	0.0	16.7	0.0	1.0	0.0	45.2	62.5	19.5	458.1
1999	78.8	80.9	34.4	18.9	3.0	0.0	0.7	0.0	54.2	38.8	22.9	17.1	349.7
2000	100.2	78.0	49.9	0.0	0.0	30.9	0.0	5.3	0.0	55.8	5.0	57.4	382.5
2001	245.4	110.3	61.3	25.6	1.5	1.7	1.7	7.2	15.5	37.5	18.5	34.6	560.8
2002	91.0	99.7	84.4	63.7	7.6	7.6	41.2	4.2	1.5	44.2	19.8	43.9	508.8
2003	78.2	96.5	66.6	6.4	2.1	0.0	0.0	0.0	18.0	11.3	27.5	96.5	403.1
2004	142.8	86.5	44.4	16.2	0.0	0.0	22.8	23.9	15.4	15.5	28.8	48.1	444.4
2005	70.9	96.3	28.5	17.6	1.6	0.0	0.0	3.1	15.1	58.8	64.2	68.9	425.0
2006	169.2	75.0	59.3	19.2	0.0	0.0	0.0	10.5	5.0	31.9	56.9	50.3	477.3
2007	50.7	38.4	90.3	29.9	1.2	0.0	29.1	0.0	32.1	7.3	43.6	56.4	379.0
2008	113.6	45.8	51.4	8.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.1	25.4	82.6	342.1
2009	63.5	49.5	38.4	14.9	0.0	0.0	9.9	0.0	1.4	13.8	42.8	73.0	307.2
2010	98.6	104.6	16.4	18.3	43.3	0.0	0.0	7.5	5.6	41.8	23.7	41.2	401.0
2011	36.9	113.5	63.3	6.5	6.6	0.0	12.3	0.0	16.1	12.0	39.1	131.0	437.3
2012	113.2	105.0	132.7	41.2	0.0	0.0	3.7	0.0	12.6	8.9	28.8	101.2	547.3
2013	127.7	92.7	38.4	6.7	36.6	41.8	5.5	18.4	0.6	20.7	9.8	130.4	529.3
2014	122.9	59.3	63.0	28.9	28.3	0.0	0.0	25.6	46.0	26.6	18.7	35.8	455.1
2015	145.8	70.3	39.3	38.4	0.8	0.0	12.4	25.8	31.6	33.5	21.7	57.0	476.6
2016	75.1	103.1	19.1	69.2	0.0	0.0	0.9	0.0	0.0	18.2	2.4	34.8	322.8

Fuente: Elaboración propia con datos del SENAMHI

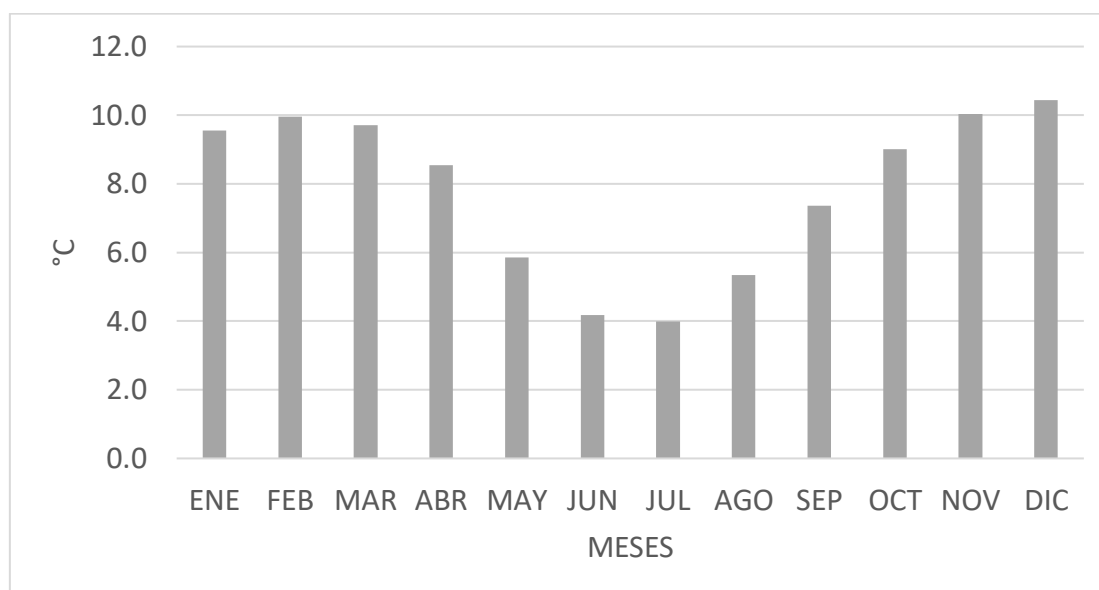
3.1.2.3 Clima

Como la mayor parte de las regiones del altiplano, el Municipio de Jesús de Machaca generalmente presenta un clima frío, sin embargo, existe variación según las diferentes estaciones del año, topografía y altitud en la que se encuentran sus zonas.

Finalmente es importante mencionar que según las costumbres y conocimientos ancestrales de los originarios, el clima está determinado por las lluvias, en época seca el clima se hace más frío y generalmente no se desarrolla las actividades agrícolas, por el contrario, la época húmeda permite la producción de los cultivos de la región.

Los reportes de la estación meteorológica de Tiwanaku, más cercana al municipio Jesús de Machaca, indican que la temperatura promedio anual es de 8.08°C.

FIGURA 33. TEMPERATURAS MEDIAS MENSUALES (°C)



Fuente: Elaboración propia (2020)

3.2 CÁLCULO DE LAS VARIABLES MEDIANTE HIDROLOGÍA CLÁSICA

Para el cálculo de estas variables se utilizó la hidrología clásica a partir de las tablas y métodos empíricos.

3.2.1 Probabilidad y Estadística de Información Pluviométrica

Las funciones de distribución de probabilidad que mejor se ajustaban a valores extremos, es mediante la ley de Gauss. Al tener la siguiente distribución de años:

- a) Años Húmedos: 90% de no ser excedido
- b) Años Secos: 80% de ser excedido
- c) Años Normales: 50%

Donde su ajuste es de distribución normal y verifica la prueba de bondad de ajuste.

En la tabla 6 se realizó la respectiva probabilidad de años secos húmedos y normales, tomando como parámetros las precipitaciones y las probabilidades de excedencias.

TABLA 6. PROBABILIDAD DE AÑOS SECOS, HÚMEDOS Y NORMALES

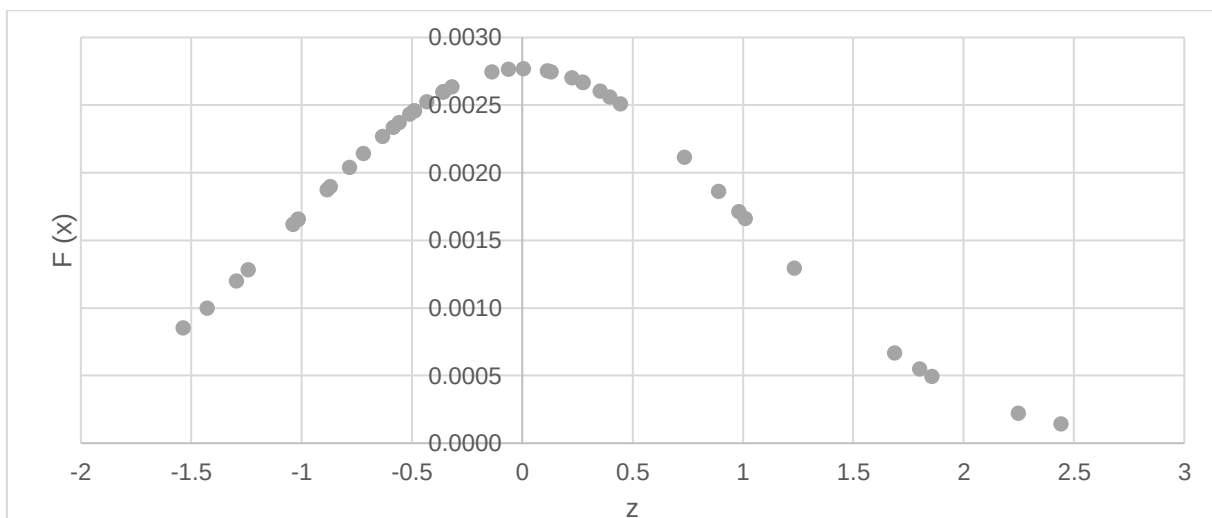
PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTANDAR	MAX	MIN
528.5	144.0173	879.9	307.2
AÑO SECO			
80% de ser excedido	$F(x) =$	0.2	
	$z =$	-0.841621	
	$x =$	407.2476	
AÑO HUMEDO			
90% de no ser excedido	$F(x) =$	0.90	
	$z =$	1.281552	
	$x =$	713.0212	
AÑO NORMAL			
$F(x) = 50\%$; T=2años	$F(x) =$	0.5	
	$z =$	0	
	$x =$	528.4556	

N	AÑO	ANUAL	z	F(x)	AÑO
1	1974	656.7	0.89	0.0019	NORMAL
2	1975	795.8	1.86	0.0005	HÚMEDO
3	1976	585.5	0.40	0.0026	NORMAL
4	1977	674.0	1.01	0.0017	NORMAL
5	1978	787.8	1.80	0.0005	HÚMEDO
6	1979	852.1	2.25	0.0002	HÚMEDO
7	1980	544.9	0.11	0.0028	NORMAL
8	1981	771.6	1.69	0.0007	HÚMEDO
9	1982	669.8	0.98	0.0017	NORMAL
10	1983	458.0	-0.49	0.0025	NORMAL
11	1984	706.2	1.23	0.0013	NORMAL
12	1985	879.9	2.44	0.0001	HÚMEDO
13	1986	592.7	0.45	0.0025	NORMAL
14	1987	634.3	0.73	0.0021	NORMAL
15	1988	579.2	0.35	0.0026	NORMAL
16	1989	482.6	-0.32	0.0026	NORMAL
17	1990	567.8	0.27	0.0027	NORMAL
18	1991	415.7	-0.78	0.0020	NORMAL
19	1992	466.1	-0.43	0.0025	NORMAL
20	1993	568.4	0.28	0.0027	NORMAL
21	1994	519.6	-0.06	0.0028	NORMAL
22	1995	382.2	-1.02	0.0017	SECO
23	1996	477.1	-0.36	0.0026	NORMAL
24	1997	448.2	-0.56	0.0024	NORMAL
25	1998	458.1	-0.49	0.0025	NORMAL
26	1999	349.7	-1.24	0.0013	SECO
27	2000	382.5	-1.01	0.0017	SECO
28	2001	560.8	0.22	0.0027	NORMAL
29	2002	508.8	-0.14	0.0027	NORMAL
30	2003	403.1	-0.87	0.0019	SECO
31	2004	444.4	-0.58	0.0023	NORMAL
32	2005	425.0	-0.72	0.0021	NORMAL
33	2006	477.3	-0.36	0.0026	NORMAL
34	2007	379.0	-1.04	0.0016	SECO
35	2008	342.1	-1.29	0.0012	SECO
36	2009	307.2	-1.54	0.0009	SECO
37	2010	401.0	-0.89	0.0019	SECO
38	2011	437.3	-0.63	0.0023	NORMAL
39	2012	547.3	0.13	0.0027	NORMAL
40	2013	529.3	0.01	0.0028	NORMAL
41	2014	455.1	-0.51	0.0024	NORMAL
42	2015	476.6	-0.36	0.0026	NORMAL
43	2016	322.8	-1.43	0.0010	SECO

Fuente: Elaboración propia (2020)

Según la prueba de bondad de ajuste (Figura 36) se pudo notar que se ajusta a la función de probabilidades teórica que en este caso es la precipitación de la estación Tiwanaku.

FIGURA 34. AJUSTE A LA LEY DE GAUSS



Fuente: Elaboración propia (2020)

3.2.1.1 Métodos Analíticos

Existen métodos analíticos que cumplen también la función de definir el grado de ajuste de una serie de datos a una función de distribución de probabilidades, los más conocidos y aplicados en hidrología son de la prueba de Chi – Cuadrado y Smirnov-Kolmogorov.

a) Test de Chi-Cuadrado

Este es el método más usado para verificar el grado de ajuste de series de registros aleatorios a una distribución de funciones teórica. Para área de estudio “Sullkatiti Titiri” se hizo una comparación entre el número actual y el número esperado de observaciones que hacen que el número total de observaciones que caen en el intervalo de clase. Los números esperados fueron calculados multiplicando la frecuencia relativa esperada por el número total de observaciones; el primer paso fue ordenar la información.

TABLA 7. SERIE DE PRECIPITACIONES ORDENADO DE MENOR A MAYOR

N	AÑO	ANUAL
36	2009	307.2
43	2016	322.8
35	2008	342.1
26	1999	349.7
34	2007	379.0
22	1995	382.2
27	2000	382.5
37	2010	401.0
30	2003	403.1
18	1991	415.7
32	2005	425.0
38	2011	437.3
31	2004	444.4
24	1997	448.2
41	2014	455.1
10	1983	458.0
25	1998	458.1
19	1992	466.1
42	2015	476.6
23	1996	477.1
33	2006	477.3
16	1989	482.6
29	2002	508.8
21	1994	519.6
40	2013	529.3
7	1980	544.9
39	2012	547.3
28	2001	560.8
17	1990	567.8
20	1993	568.4
15	1988	579.2
3	1976	585.5
13	1986	592.7
14	1987	634.3
1	1974	656.7
9	1982	669.8
4	1977	674.0
11	1984	706.2
8	1981	771.6
5	1978	787.8
2	1975	795.8
6	1979	852.1
12	1985	879.9

Intervalos de la frecuencia acumulada

Fuente: Elaboración propia (2020)

- a) Cálculo de la frecuencia para datos agrupados:

$$NC = 1 + 1.33 \ln N$$

$$NC = 1 + 1.33 \ln 43$$

$$NC = 6$$

- b) Cálculo de la amplitud de cada intervalo:

$$\Delta X = \frac{X_{max} - X_{min}}{NC - 1}$$

$$\Delta X = \frac{879.9 - 307.2}{6 - 1}$$

$$\Delta X = 114.2$$

$$\frac{\Delta X}{2} = 57.2$$

- c) En la tabla siguiente se calculó los intervalos de clase, marca absoluta observada y frecuencia relativa.

TABLA 8. CÁLCULO DE LA FRECUENCIA ACUMULADA

Intervalos de clase		Marcas de clase	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	frecuencia aculada	Cálculo de la media	Desviacion Estandar
249.96	364.44	307.20	4.00	0.09	0.09	28.58	4011.83
364.44	478.93	421.69	17.00	0.40	0.49	166.71	3433.03
478.93	593.41	536.17	12.00	0.28	0.77	149.63	126.61
593.41	707.90	650.66	5.00	0.12	0.88	75.66	2143.89
707.90	822.38	765.14	3.00	0.07	0.95	53.38	4369.88
822.38	936.87	879.63	2.00	0.05	1.00	40.91	6188.19
						514.87	142.38

Fuente: Elaboración propia (2020)

- d) En la tabla 9 se calculó la frecuencia esperada, utilizando la distribución teórica normal.

TABLA 9. CÁLCULO DE LA FRECUENCIA ABSOLUTA

Intervalos de clase		Limite de Clase	$Z=(x-X_{med})/S$	Area bajo la curva normal de 0 a Z	Frecuencia Relativa	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Observada	Valor calculado de Chi-cuadrado
		249.96	-1.86	0.47	0.00	0.00		
249.96	364.44	364.44	-1.06	0.36	0.11	5.00	4.00	0.20
364.44	478.93	478.93	-0.25	0.10	0.26	11.00	17.00	3.27
478.93	593.41	593.41	0.55	0.21	0.31	13.00	12.00	0.08
593.41	707.90	707.90	1.36	0.41	0.20	9.00	5.00	1.78
707.90	822.38	822.38	2.16	0.48	0.07	3.00	3.00	0.00
822.38	936.87	936.87	2.96	0.50	0.01	1.00	2.00	1.00
							$\chi_c^2 =$	6.33

Fuente: Elaboración propia (2020)

- e) Cálculo del valor calculado de Chi-cuadrado χ_c^2

$$\chi_c^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(\theta_i - e_i)^2}{e_i}$$

$$\chi_c^2 = 6.33$$

- f) Cálculo del valor a tabular:

Grados de libertad:

$$\nu = k - 1 - h$$

$$\nu = 6 - 1 - 3$$

$$\nu = 2$$

Nivel de significación: $\alpha = 0.05 = 5\%$

De la tabla para $v = 3$ y $\alpha = 0.05$ se obtiene:

$$x_t^2 = 7.81$$

g) Criterio de decisión:

$$x_c^2 = 6.33 < x_t^2 = 7.81$$

Si el Chi-cuadrado calculado es menor o igual que el valor tabular, se acepta la hipótesis que el ajuste es bueno al nivel de significación seleccionado.

La prueba de Chi- cuadrado cumplió con la hipótesis de ajuste, motivo por el cual fue adoptado para la determinación de los años secos, húmedos y normales.

3.2.2 Evapotranspiración

3.2.2.1 Método De Thornthwaite

TABLA 10. FACTOR DE CORRECCIÓN

FACTORES DE CORRECCION												
LATITUD SUR	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
5	1.04	0.95	1.04	1	1.02	0.99	1.02	1.03	1	1.05	1.03	1.06
10	1.08	0.97	1.05	0.99	1.01	0.96	1	1.01	1	1.06	1.05	1.1
15	1.12	0.98	1.05	0.98	0.98	0.94	0.97	1	1	1.07	1.07	1.12
17	1.13	0.99	1.05	0.975	0.97	0.925	0.96	0.995	1	1.075	1.08	1.135
19	1.135	0.995	1.05	0.973	0.965	0.918	0.955	0.993	1	1.078	1.085	1.143
20	1.14	1	1.05	0.97	0.96	0.91	0.95	0.99	1	1.08	1.09	1.15
25	1.17	1.01	1.05	0.96	0.94	0.88	0.93	0.98	1	1.1	1.11	1.18
30	1.2	1.03	1.06	0.95	0.92	0.85	0.9	0.96	1	1.12	1.14	1.21
35	1.23	1.04	1.06	0.95	0.89	0.82	0.87	0.94	1	1.13	1.17	1.25
40	1.27	1.06	1.07	0.93	0.86	0.78	0.84	0.92	1	1.15	1.2	1.29
45	1.31	1.1	1.07	0.91	0.81	0.71	0.78	0.9	0.99	1.17	1.26	1.36
50	1.37	1.12	1.08	0.89	0.77	0.67	0.74	0.88	0.99	1.19	1.29	1.41

Fuente: <http://hidrologia.usal.es> (2012)

Las fórmulas propuestas por Thornthwaite emplea El factor de corrección Tabla 10 que se determinó a partir del parámetro de la latitud sud haciendo una interpolación entre 16 y 18 grados respectivamente. Los cálculos del mismo para años secos, húmedo y normales se adjuntaron en Anexo C.

Otro parámetro es el índice térmico para cada mes (i) además de la evapotranspiración sin corregir que emplea datos de temperatura media para lo cual se utilizaron datos de la estación Tiwanaku. Por otro lado también se halló la sumatoria del índice térmico y el parámetro adimensional (a).

Estos cálculos se clasificaron en años secos, húmedos y normales, donde la Presa Sullkatiti Titiri presenta mayor cantidad de años secos y por tanto según el Método de Thornthwaite llego a tener menor evapotranspiración.

En el cálculo de la evapotranspiración para años húmedos se pudo ver claramente que los meses de junio y julio presentan menos evapotranspiración al tener temperaturas más bajas.

TABLA 11. CALCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN MEDIANTE EL MÉTODO DE THORNTHWAITE

AÑO HÚMEDO 1975														
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	a	0.9
T media (°C)	8.5	9.4	9.2	8.1	6.1	4.7	2.8	4.8	7.5	7.9	9.3	9.2	$\bar{x} T_{media}$	7.3
i	2.23	2.60	2.52	2.08	1.35	0.91	0.42	0.94	1.85	2.00	2.56	2.52	Σi	22.0
ETO s/c (mm/mes)	50.95	55.53	54.52	48.89	38.35	30.68	19.69	31.24	45.77	47.86	55.03	54.52		
Factor "e"	1.13	0.99	1.05	0.98	0.97	0.93	0.96	1.00	1.00	1.07	1.08	1.13		
ETO (mm/mes)	57.4	54.8	57.2	47.7	37.3	28.5	19.0	31.1	45.8	51.4	59.3	61.7	$\bar{x} ETO_{med}$	45.9

Fuente: Elaboración propia (2020)

a) Cálculo del índice térmico mensual mes de enero:

$$i = \left(\frac{t}{5} \right)^{1.514}$$

$$i = \left(\frac{8.5 \text{ }^{\circ}\text{C}}{5} \right)^{1.514}$$

$$i = 2.23$$

b) Cálculo de la evapotranspiración sin corregir

$$a = 675 * 10^{-9} * I^3 - 771 * 10^{-7} * I^2 + 1792 * 10^{-5} * I + 0.49239$$

$$a = 675 * 10^{-9} * (22)^3 - 771 * 10^{-7} * (22)^2 + 1792 * 10^{-5} * (22) + 0.49239$$

$$a = 0.9$$

$$Eto \frac{s}{c} = 16 * \left(\frac{10 * T_{med}}{I} \right)^a$$

$$Eto \frac{s}{c} = 16 * \left(\frac{10 * 8.5 \text{ }^{\circ}\text{C}}{22} \right)^{0.9}$$

$$Eto \frac{s}{c} = 50.95 \text{ mm/mes}$$

c) Interpolación del factor “e”: En la tabla 12 se muestra la interpolación que a partir de la latitud se procedió a hallar los factores de corrección de forma mensual.

TABLA 12. INTERPOLACIÓN DEL FACTOR DE CORRECCIÓN

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
15	1.12	0.98	1.05	0.98	0.98	0.94	0.97	1.00	1.00	1.07	1.07	1.12
17	1.13	0.99	1.05	0.975	0.97	0.925	0.96	0.995	1.00	1.075	1.08	1.135
16.56	1.13	0.99	1.05	0.98	0.97	0.93	0.96	1.00	1.00	1.07	1.08	1.13

Fuente: <http://hidrologia.usal.es> (2012)

d) Cálculo de la evapotranspiración potencial mensual

$$Eto = \text{Factor } e * Eto \text{ s/c}$$

$$Eto = 1.13 * 50.95$$

$$E_{to} = 57.4 \text{ mm/mes}$$

Para el año 1975 del mes de enero se tiene una evapotranspiración igual a 27.4 mm/mes, para los años húmedos, secos.

TABLA 13. RESUMEN DEL CÁLCULO DE EVAPOTRANSPIRACIÓN MEDIANTE EL MÉTODO DE THORNTHWAITE

EVAPOTRANSPIRACIÓN MÉTODO DE THORNTHWAITE (mm/mes)												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1975	57.4	54.8	57.2	47.7	37.3	28.5	19.0	31.1	45.8	51.4	59.3	61.7
1978	64.5	58.0	60.1	50.4	34.6	24.1	20.2	33.9	37.2	53.3	60.0	65.3
1979	61.8	54.7	57.1	45.6	31.7	30.7	25.6	28.7	41.5	56.7	63.4	66.0
1981	68.5	56.5	58.0	42.5	33.6	19.0	25.0	38.7	33.0	53.9	63.9	68.7
1985	60.7	52.2	56.6	48.7	40.6	26.7	19.9	34.9	45.8	57.8	55.4	62.1
1999	63.9	54.5	58.0	48.9	35.5	19.5	24.6	32.1	37.0	55.4	56.7	69.2
2000	66.3	54.1	57.0	47.0	38.7	21.7	16.9	35.9	39.8	50.6	60.1	66.0
2007	64.3	56.4	58.3	50.8	34.6	27.6	24.5	34.4	46.4	54.8	55.5	62.8
2008	63.5	55.6	56.0	44.6	25.7	24.0	22.1	29.6	41.5	56.7	68.3	67.1
2009	62.8	54.5	55.3	45.9	33.1	15.1	23.6	25.5	46.0	67.4	65.4	68.1
2010	66.3	58.6	58.0	49.0	35.3	29.9	24.9	31.5	42.0	54.4	57.9	65.9
2012	62.4	52.2	54.4	47.6	32.7	22.6	24.5	31.3	46.2	58.4	64.5	63.8
2013	61.1	54.0	58.5	42.4	39.2	25.6	31.2	32.8	40.3	54.3	63.2	64.1
2014	61.6	53.9	55.8	47.4	34.6	26.6	23.9	34.4	48.5	53.7	59.9	67.5

Fuente: Elaboración propia (2020)

3.2.2.2 Método De Penman Monteith

Las fórmulas propuestas por Penman Monteith emplea diferentes variables por ejemplo; se trabajó con datos de radiación solar diaria, temperatura máxima, temperatura mínima, humedad relativa máxima, humedad relativa mínima y velocidad de viento, para estimar la evapotranspiración de referencia. Anexo D.

Este método, al ser mucho más preciso presenta valores de evapotranspiración de mayor magnitud en lo que respecta a los años secos, húmedos y normales.

Cálculo de la Evapotranspiración para el año 1975 (mes de enero)

- a) Cálculo de la presión atmosférica:

$$P = 101.3 * \left(\frac{293 - 0.0065 * z}{293} \right)^{5.26}$$

$$P = 101.3 * \left(\frac{293 - 0.0065 * 3863}{293} \right)^{5.26}$$

$$P = 63.23 \text{ kPa}$$

- b) Cálculo de la constante psicrométrica

$$\gamma = \frac{C_p * P}{\epsilon * \lambda}$$

$$\gamma = \frac{1.013 * 10^{-3} * 63.23}{0.622 * 2.45}$$

$$\gamma = 0.04$$

- c) Cálculo de la pendiente de la curva de presión de vapor

$$\Delta = \frac{4098 * \left[0.6108 * e^{\left(\frac{17.27 * T_{med}}{T_{med} + 237.3} \right)} \right]}{(T_{med} + 237.3)^2}$$

$$\Delta = \frac{4098 * \left[0.6108 * e^{\left(\frac{17.27 * 8.5}{8.5 + 237.3} \right)} \right]}{(8.5 + 237.3)^2}$$

$$\Delta = 0.075$$

- d) Cálculo de la presión de saturación del vapor a la temperatura del aire

$$e^o(T_{max}) = 0.6108 * e^{\left(\frac{17.27 * T_{max}}{T_{max} + 237.3} \right)}$$

$$e^o(Tmax) = 0.6108 * e^{\left(\frac{17.27*14.6}{14.6+237.3}\right)}$$

$$e^o(Tmax) = 1.66$$

$$e^o(Tmin) = 0.6108 * e^{\left(\frac{17.27*Tmin}{Tmin+237.3}\right)}$$

$$e^o(Tmin) = 0.6108 * e^{\left(\frac{17.27*2.4}{2.4+237.3}\right)}$$

$$e^o(Tmin) = 0.73$$

Cálculo de la radiación

e) Conversión de la latitud de grados sexagesimales a radianes

$$\varphi = Latitud * \frac{\pi}{180}$$

$$\varphi = -16.57 * \frac{\pi}{180}$$

$$\varphi = -0.289$$

f) Cálculo de la declinación solar

$$\delta = 0.409 * \sin\left(\frac{2\pi}{365} * J - 1.39\right)$$

$$\delta = 0.409 * \sin\left(\frac{2\pi}{365} * 31 - 1.39\right)$$

$$\delta = -0.309$$

g) Cálculo del ángulo a la hora de la puesta de sol

$$w_s = arccos[-\tan(\varphi) * \tan(\delta)]$$

$$w_s = \arccos[-\tan(-0.289) * \tan(-0.309)]$$

$$w_s = 1.666 \text{ rad}$$

- h) Cálculo de la inversa de la distancia relativa entre la tierra y el sol: considerando el día Juliano para el mes de enero igual a 31.

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

$$d_r = 1 + 0.033 * \cos\left(\frac{2\pi}{365} * 31\right)$$

$$d_r = 1.028 \text{ MJm}^{-2} * \text{dia}^{-1}$$

- i) Cálculo de la radiación extraterrestre

$$R_a = \frac{24 * (60)}{\pi} * G_{sc} * d_r [w_s * \sin(\varphi) * \sin(\delta) + \cos(\varphi) * \cos(\delta) * \sin(w_s)]$$

$$R_a = \frac{24 * (60)}{\pi} * 0.0820 * 1.028 [1.666 * \sin(-0.289) * \sin(-0.309) + \cos(-0.289) * \cos(-0.309) * \sin(1.666)]$$

$$R_a = 40.72 \text{ MJm}^{-2} * \text{dia}^{-1}$$

- j) Cálculo de la radiación solar global diaria: para para se tiene un coeficiente de ajuste considerando el valor igual a 0.16.

$$R_s = k_{Rs} \sqrt{(T_{max} - T_{min})} R_a$$

$$R_s = 0.16 \sqrt{(14.6 - 2.4)} * 40.72$$

$$R_s = 22.76 \text{ MJm}^{-2} * \text{dia}^{-1}$$

k) Cálculo de la radiación neta de onda corta

$$Rns = (1 - \alpha) Rs$$

$$Rns = (1 - 0.23) 22.76$$

$$Rns = 17.52 \text{ MJm}^{-2} * \text{dia}^{-1}$$

l) Cálculo de la radiación solar para un día sin nubes

$$Rso = (0.75 + 2 * 10^5 * z) * Ra$$

$$Rso = (0.75 + 2 * 10^5 * 3863) * 40.72$$

$$Rso = 33.69 \text{ MJm}^{-2} * \text{dia}^{-1}$$

m) Cálculo de la radiación neta de onda larga

$$Rnl = \left[\frac{(TmaxK)^4 + (TminK)^4}{2} \right] * (0.34 - 0.14 * \sqrt{e_a}) \left(1.35 * \frac{Rs}{Rso} - 0.35 \right)$$

$$Rnl = \left[\frac{(14.6 + 273.16)^4 + (2.4 + 273.16)^4}{2} \right] * (0.34 - 0.14 * \sqrt{0.73}) \left(1.35 * \frac{22.76}{33.69} - 0.35 \right)$$

$$Rnl = 3.84 \text{ MJm}^{-2} * \text{dia}^{-1}$$

n) Cálculo de la radiación neta

$$Rn = Rns - Rnl$$

$$Rn = 17.52 - 3.84$$

$$Rn = 13.68 \text{ MJm}^{-2} * \text{dia}^{-1}$$

o) Cálculo del flujo de calor de suelo

$$G = 0.14 * (T_i - T_{i-1})$$

$$G = 0.14 * (8.5 - 9.2)$$

$$G = 0.10 \text{ MJm}^{-2} * \text{dia}^{-1}$$

p) Cálculo de la evapotranspiración

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

$$Eto = \frac{0.408 * 0.075 * (13.68 - (-0.10)) + 0.04 * \frac{900}{8.5 + 273} * 2 * (1.19 - 0.73)}{0.075 + 0.04 * (1 + 0.34 * 2)}$$

$$Eto = 3.76 \text{ MJm}^{-2} * \text{dia}^{-1}$$

q) Cálculo de la evapotranspiración mensual

$$Eto \text{ mensual} = Eto * \#días \text{ mes}$$

$$Eto \text{ mensual} = 3.76 * 30$$

$$Eto \text{ mensual} = 116.7 \text{ mm/mes}$$

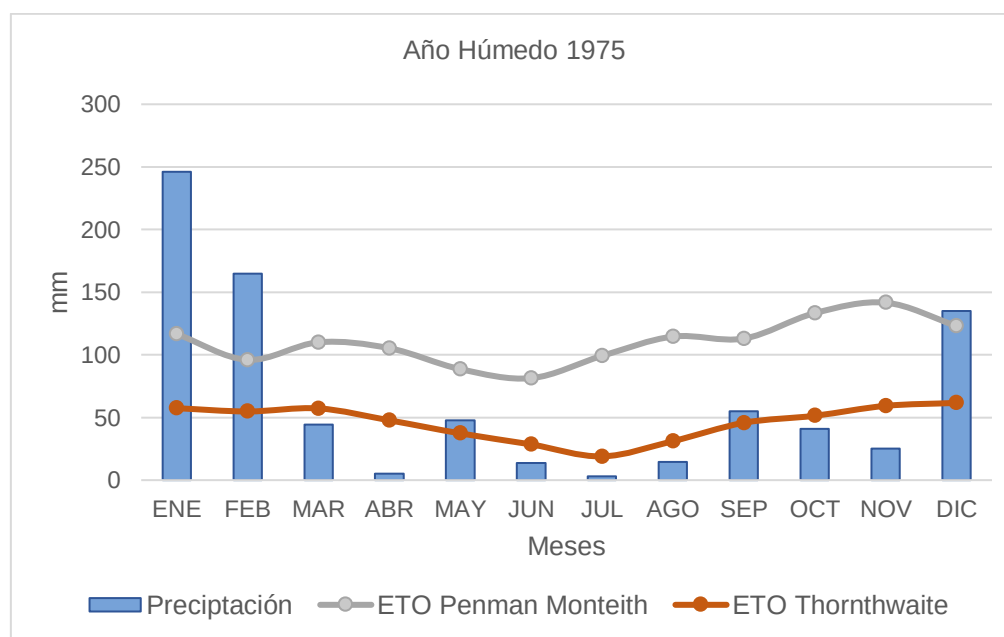
Para el año 1975 se tuvo una evapotranspiración de 116.7 mm/mes para el mes de enero, al ser una época húmeda se llegó a tener mayores valores de evapotranspiración en el mes de enero y diciembre. En la época seca se tiene mayor evapotranspiración en el mes de septiembre hasta el mes de enero. Por otro lado, para el año normal existen valores análogos en los respectivos meses, cálculos que se encuentran en ANEXO D: Método de Penman Monteith y Balance Hídrico y se muestra una tabla resumen empleando este método. (Tabla 14)

TABLA 14. RESUMEN DEL CÁLCULO DE EVAPOTRANSPIRACIÓN MEDIANTE EL MÉTODO DE PENMAN MONTEITH

EVAPOTRANSPIRACIÓN MÉTODO DE PENMAN MONTEITH (mm/mes)												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1975	116.7	96.0	110.0	105.3	88.6	81.4	99.2	114.6	113.0	133.3	141.6	123.1
1978	120.1	113.6	115.5	102.8	103.4	89.9	100.8	111.6	124.8	148.3	127.7	122.3
1979	109.8	106.7	105.7	96.0	98.7	88.2	95.9	120.1	130.9	132.8	139.8	131.4
1981	122.9	105.3	110.7	103.5	101.0	95.4	106.9	112.3	123.2	130.3	130.3	134.1
1985	115.9	93.7	108.6	93.5	92.4	81.5	98.5	118.2	111.7	150.2	112.7	116.3
1999	125.3	94.6	95.1	91.4	94.6	90.7	96.0	116.2	124.5	126.7	141.4	143.6
2000	124.1	102.7	104.7	105.5	98.7	88.3	97.1	108.9	135.7	133.7	153.7	137.9
2007	127.7	109.8	107.6	98.6	97.0	95.0	95.7	116.2	110.5	142.2	138.7	132.6
2008	108.8	105.0	111.3	106.5	101.3	91.7	104.2	120.6	131.8	138.5	144.0	127.7
2009	123.7	106.9	109.0	102.9	100.1	97.9	96.1	122.1	130.9	142.5	134.4	130.6
2010	119.0	102.3	110.7	103.5	98.9	89.5	99.3	119.8	134.7	149.4	143.6	132.3
2012	114.2	96.9	103.3	91.3	96.7	89.7	99.2	120.2	129.2	143.0	137.0	118.1
2013	119.1	102.8	114.1	112.6	94.3	84.5	95.4	115.1	129.7	135.5	141.9	122.4
2014	113.6	104.1	114.5	100.8	95.5	93.2	98.6	111.4	109.4	133.1	142.6	136.8

Fuente: Elaboración propia (2020)

FIGURA 35. EVAPOTRANSPIRACIÓN MEDIANTE THORNTHWAITE VS PENMAN MONTEITH



Fuente: Elaboración propia (2020)

En la Figura 35, se pudo observar que el método de Penman y Monteith halló valores más realistas porque evidentemente el área de estudio Sullkatiti Titiri al ser una zona altiplánica presenta mayor evapotranspiración; sin embargo, el método de Thornthwaite trabaja con valores promedios mensuales.

3.2.3 Balance Hídrico

Se realizó el cálculo del balance hídrico directo propuesto por Thornthwaite; a partir de la evapotranspiración mediante el método de Thornthwaite y Penman Monteith, se observa que en la época seca no hay excedentes, teniendo un coeficiente de escorrentía igual a cero, sin embargo, en la época húmeda se llegó a tener coeficientes de escorrentía mayores a cero pues existe mayor disponibilidad de caudal respecto al balance hídrico. a continuación, se muestra el cálculo correspondiente para el año de 1975 y en Anexos C para los años secos, húmedos y normales respectivamente.

A continuación se muestra el cálculo del Balance Hídrico para el año 1975 y un breve resumen de las variables calculadas. (Tabla 15)

TABLA 15. BALANCE HÍDRICO MEDIANTE EL MÉTODO DE THORNTHWAITTE

Método Thornthwaite Datos Mensuales													
AÑO HÚMEDO 1975													
MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
P total (mm/mes)	246.3	165.0	44.3	5.3	47.7	13.8	3.0	14.5	54.9	40.9	25.3	134.8	795.80
ETP (mm/mes)	57.4	54.8	57.2	47.7	37.3	28.5	19.0	31.1	45.8	51.4	59.3	61.7	551.23
VRA (mm/mes)	188.9	110.2	-12.9	-42.4	10.4	-14.7	-16.0	-16.6	9.1	-10.5	-34.0	73.1	
R (mm/mes)	100.0	100.0	87.1	44.6	55.0	40.3	24.3	7.7	16.8	6.4	0.0	73.1	
VR (mm/mes)	26.9	0.0	-12.9	-42.4	10.4	-14.7	-16.0	-16.6	9.1	-10.5	-6.4	73.1	
ETR (mm/mes)	57.4	54.8	57.2	47.7	37.3	28.5	19.0	31.1	45.8	51.4	31.7	61.7	
Deficit (mm/mes)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-27.6	0.0	-27.62
Excedencia (mm/mes)	162.0	110.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	272.19
Recarga (mm/mes)	81.0	95.6	47.8	23.9	11.9	6.0	3.0	1.5	0.7	0.4	0.2	0.0	

Fuente: Elaboración propia (2020)

a) Verificación:

$$\begin{aligned} & \sum P_{total} + \sum Deficit \\ & 795.80 \text{ mm} + (-27.62 \text{ mm}) \\ & 823 \text{ mm} \\ & \sum E_{tp} + \sum Excedencia \\ & 551.23 \text{ mm} + 272.19 \text{ mm} \\ & 823 \text{ mm} \end{aligned}$$

b) Cálculo del coeficiente de escorrentía

$$\begin{aligned} c &= \frac{\sum Excedencia}{\sum P_{total}} \\ c &= \frac{272.19 \text{ mm}}{795.80 \text{ mm}} \\ c &= 0.34 \end{aligned}$$

Para ambos métodos se utilizó la precipitación media y la evapotranspiración calculada en el acápite anterior. Donde V_{ra} es el volumen real de agua siendo la diferencia de la precipitación y la evapotranspiración como se muestra en la ecuación 25, por otro lado R es la reserva de agua utilizada poniendo un valor de cero al número más negativo de la fila y cumpliendo la condición del diagrama de flujo de la Figura 14, V_r es el volumen de reserva y es la diferencia de la reserva mensual y la reserva mensual anterior como se muestra en la ecuación 26, la evapotranspiración real debe seguir los pasos del diagrama de flujo de la figura 15, por otro lado para el cálculo de la excedencia se asignó un valor de cero al número más negativo para proceder con el cálculo con el diagrama de la figura 16, por último la recarga se lo calculo mediante la ecuación 27 que utiliza la recarga anterior y la excedencia actual.

3.2.4 Escorrentía

Para determinar la escorrentía se llegó a usar los datos del área de la cuenca y las excedencias calculadas a través del balance hídrico, para ello se halló caudales mensuales expresados en m³/mes teniendo un valor de excedencia mucho mayores en los años húmedos, por el contrario, en los años secos y normales no existe mucha disponibilidad de caudal ya que se llegó a obtener caudales relativamente pequeños (Anexo E).

En la Tabla 16 podemos observar que nuestros datos de partida fueron las excedencias mensuales y el área, por otro lado, la precipitación y el coeficiente de escorrentía donde ambos métodos expresan el caudal en m³/mes.

$$Q = Area * Excedencia$$

$$Q_{enero} = 9306719 \text{ m}^2 * 0.2 \frac{\text{m}}{\text{mes}}$$

$$Q_{enero} = 1.5 \frac{\text{hm}^3}{\text{mes}}$$

Siendo así el caudal anual la sumatoria de los caudales mensuales que para el año 1975 se tiene un valor igual a 2.5 hm³/mes.

TABLA 16. ESCORRENTÍA AÑO HÚMEDO 1975

AÑO HÚMEDO 1975													
AREA (Km ²)	9.31												
AREA (m ²)	9E+06												
MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
EXCEDENCIAS (mm/mes)	162.0	110.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	272.2
EXCEDENCIAS (m/mes)	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3
Q (hm ³ /mes)	1.5	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5
c	0.34												
MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
P total (mm/mes)	246.3	165.0	44.3	5.3	47.7	13.8	3.0	14.5	54.9	40.9	25.3	134.8	795.8
P total (m/mes)	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.8
Q (hm ³ /mes)	0.8	0.5	0.1	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.2	0.1	0.1	0.4	2.5

Fuente: Elaboración propia (2020)

En la Tabla 17 se puede observar que evidentemente en los años húmedos existe mayor escorrentía.

TABLA 17. TABLA RESUMEN DE ESCORRENTÍA

AÑO	ESCORRENTIA (hm ³ /mes)											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1975	1.5	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1978	1.4	0.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4
1979	1.3	0.0	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4
1981	0.3	0.8	0.4	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1985	1.02	0.42	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	1.1
1999	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2007	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2008	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2009	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2010	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2012	0.0	0.4	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2013	0.3	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2014	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Fuente: Elaboración propia (2020)

3.3 PROGRAMACIÓN EN PYTHON

3.3.1 Algoritmo para el cálculo de variables hidrológicas

Se realizó los respectivos scripts para calcular la evapotranspiración mediante el método de Penman Monteith y el método de Thornthwaite donde los datos de entrada son la temperatura máxima, mínima y media mensual respectivamente, por otro lado para el cálculo del balance hídrico se necesitó la precipitación mensual y para la escorrentía la evapotranspiración y la precipitación respectivamente.

Para el modelo es importante mencionar que el usuario debe definir la zona en el cual se está trabajando ya que esto influyen a los rasters con el cual se está trabajando, la Presa Sullkatiti Tititiri al estar ubicada en el Departamento de La Paz se lo proyectó en la zona 19 Sur.

a) Cálculo de la evapotranspiración mediante Penman Monteith

El método de Penman Monteith se utilizó para determinar la evapotranspiración. Sus variables de entrada mensual son la precipitación en mm, las temperaturas mensuales máxima mínima y media en °C, la altura sobre el nivel del mar del área de estudio, la latitud, el área de estudio en formato shapefile y el sistema de coordenadas como se observa en la tabla 18.

TABLA 18. VARIABLES DEL MODELO POR EL MÉTODO DE PENMAN MONTEITH

Variables del modelo	Entrada	Salida
Altura sobre el nivel del mar	z_msnm	
Latitud	latitud	
Temperatura máxima	carpeta_tmax	
Temperatura media	carpeta_tmed	
Temperatura mínima	carpeta_tmin	
Precipitación mensual	precipitación	
Área de estudio	areaEstudio	
Sistema de coordenadas	sist_coordenad	
Evapotranspiración		eto_01
Balance Hídrico		bh_01
Resultados		resultados

Fuente: Elaboración propia (2020)

En el Anexo G se muestra una guía para ejecutar el script.

b) Cálculo de la evapotranspiración y escorrentía mediante Thornthwaite

El método de Thornthwaite se utilizó para determinar la evapotranspiración, posteriormente el balance hídrico para luego hallar la escorrentía. Sus variables de entrada en formato ráster son la precipitación en milímetros (mm) y la temperatura media mensual en grados Celsius (°C), otra variable fue el área en formato shapefile y en valor numérico además de la latitud, como se muestra en la tabla.

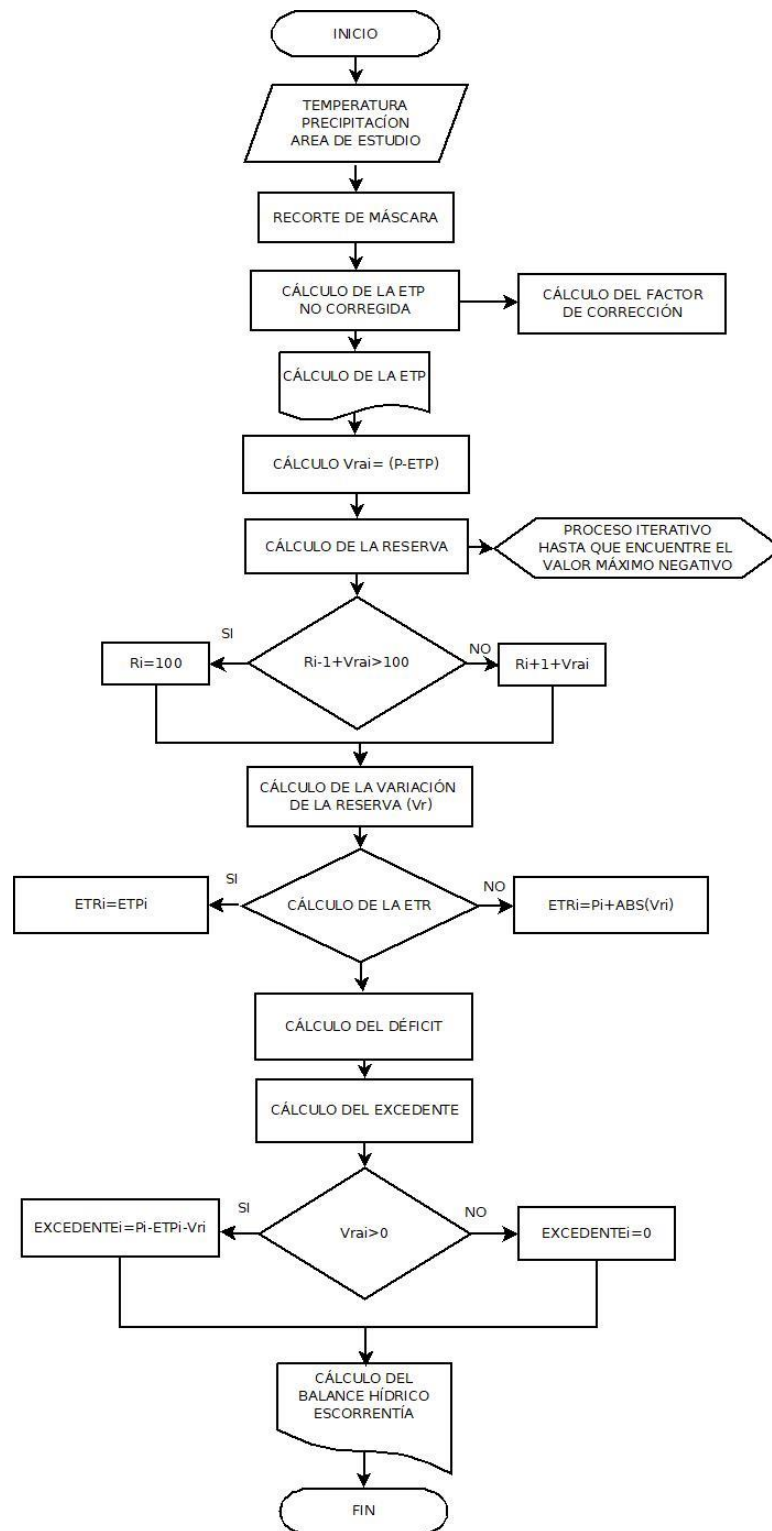
TABLA 19. VARIABLES DEL MODELO MEDIANTE EL MÉTODO DE THORNTHWAITE

Variables del modelo	Entrada	Salida
Precipitación mensual	p_01	
Temperatura mensual	1975_med_01	
Área de estudio	DELIMITACIÓN.shp	
Área de la cuenca	valor	
Latitud	valor	
Evapotranspiración		eto_01
Balance hídrico		bh_01
Caudal		Q

Fuente: Elaboración propia (2020)

En la figura 36 se muestra el diagrama de flujo para hallar la evapotranspiración, escorrentía y balance hídrico donde se realizó una extracción de máscara de los rasters de temperatura y precipitación, para posteriormente, la evapotranspiración real es la pérdida de agua por evapotranspiración de las plantas y evaporación de agua disponible en el suelo de la cuenca del río Querén. El cálculo mensual depende de la evapotranspiración potencial y la precipitación, también la reserva inicial de agua del mes anterior cuando la evapotranspiración potencial es menor a la precipitación para cada mes, mas la reserva inicial del mes anterior, el valor de la evapotranspiración real es la evapotranspiración potencial, cuando no se cumple la condición el valor será, la precipitación mensual mas la reserva inicial del mes anterior. El excedente se calculó con la reserva inicial del mes anterior, la precipitación y evapotranspiración real para cada mes. Finalmente, para la escorrentía se multiplico el área por la excedencia.

FIGURA 36. DIAGRAMA DE FLUJO DCC: EVAPOTRANSPIRACIÓN, BALANCE HÍDRICO Y ESCORRENTÍA



Fuente: Elaboración propia (2020)

3.4 CALCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN, ESCORRENTÍA Y BALANCE HÍDRICO A TRAVÉS DE LA NUEVA HERRAMIENTA CREADA

Las variables obtenidas de Evapotranspiración y Balance Hídrico mediante el lenguaje de programación Python; se presentan en la parte de Anexo E, del presente Trabajo de Grado, donde se pudo notar que los valores hallados en ambos programas no varían de una forma significativa, donde estos resultados evalúan la cantidad de agua disponible en la cuenca del río Quereni y optimizan su uso sostenible en beneficio a la población.

En la figura 37 se muestran los resultados de la evapotranspiración, escorrentía y balance hídrico para el año de 1975 donde tenemos una evapotranspiración menor en el mes de Julio. Para años secos no se llegó a tener un caudal debido a que las excedencias tenían un valor de cero. (Anexo F).

Las unidades para la evapotranspiración y balance hídrico están en (mm/mes) mientras que la escorrentía en (m³/mes).

**FIGURA 37. VARIABLES DE SALIDA:
EVAPOTRANSPIRACIÓN, ESCORRENTÍA Y BALANCE HÍDRICO**

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Prec	213.711857833	165.712826886	51.69876798	10.9823834729	30.5262319891	11.8537237039	1.33050437203	11.4904781687	72.9698			
Eto	59.4234269361	55.4849675993	60.1817926764	51.9243033703	39.6146380842	29.0315046918	19.0351825535	32.9654902105	45.0926			
Vra	154.288430897	110.227859287	-8.48302469636	-40.9419198974	-9.08840609505	-17.1777809879	-17.7046781815	-21.4750120418	27.8771			
R	100	100	91.5169753036	0	0	0	0	27.8771985068	19.465656105	0	72.4728899857	
Vr	27.5271100143	0	-8.48302469636	-91.5169753036	0	0	0	27.8771985068	-8.41154240184	-19.465656105		
Etr	59.4234269361	55.4849675993	60.1817926764	102.499358776	30.5262319891	11.8537237039	1.33050437203	11.4904781687	45.0926			
Deficit	0.0	0.0	0.0	50.5750554062	-9.08840609505	-17.1777809879	-17.7046781815	-21.4750120418	0.0	0.0	-0.91790948594	
Excedencia	126.761320882	110.227859287	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	
Recarga	63.3806604412	86.804259864	43.402129932	21.701064966	10.850532483	5.4252662415	2.71263312075	1.35631656038	0.67815			
ExcedenciaFinal	0.126761320882	0.110227859287	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Q	1179731.96183	1025859.6848	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	

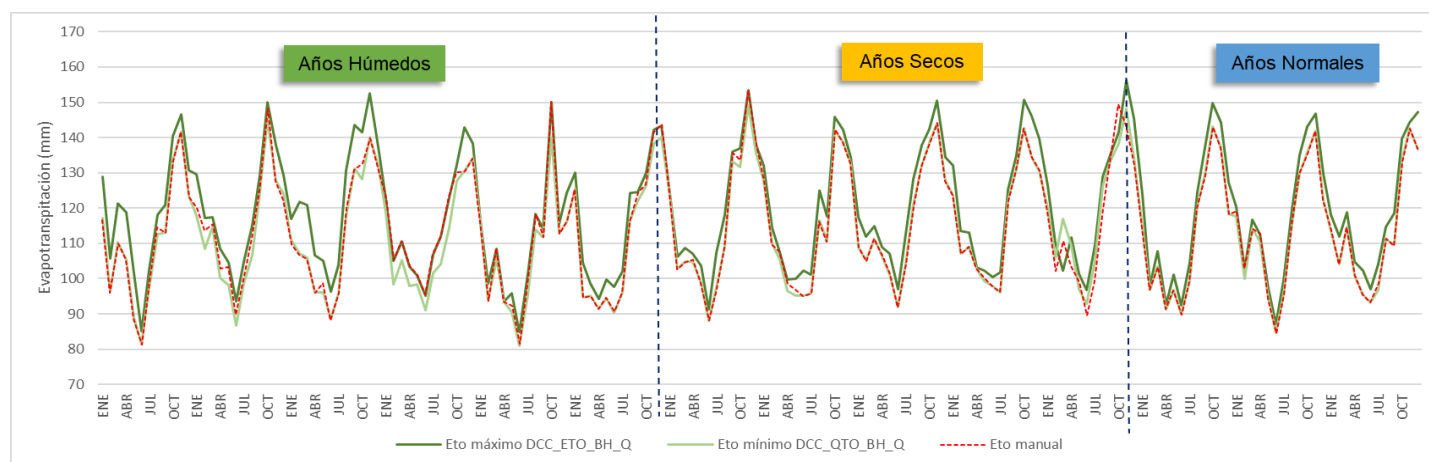
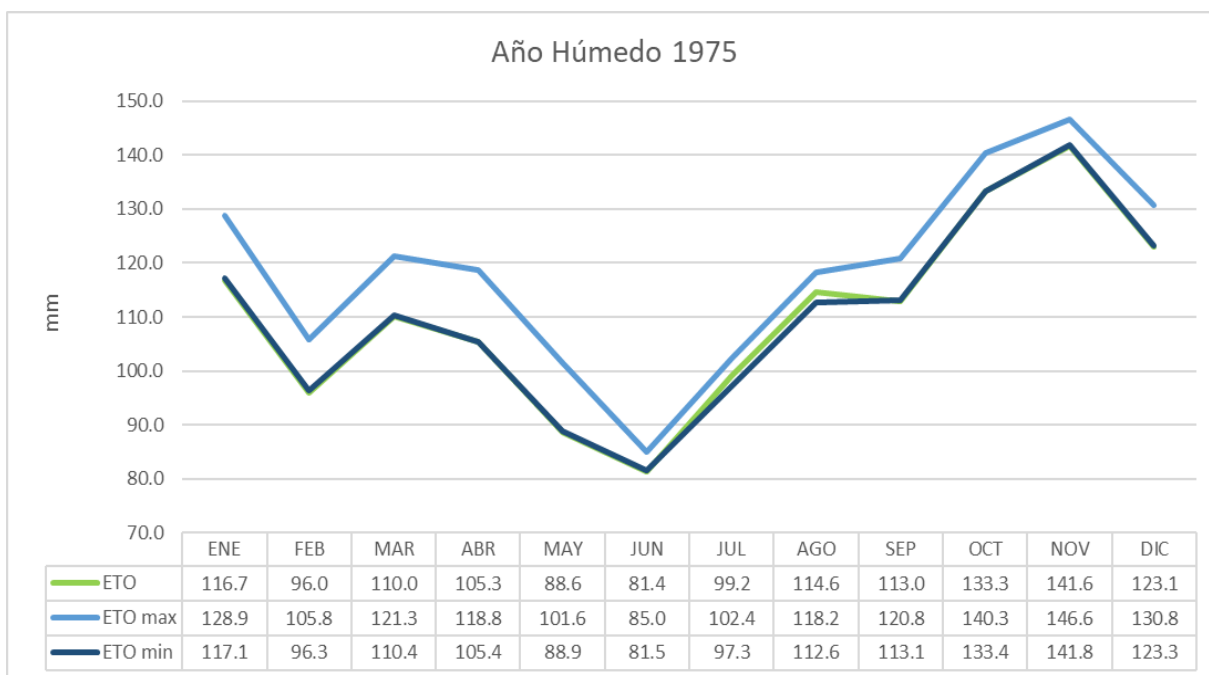
Fuente: Elaboración propia (2020)

3.5 COMPARACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados se representan con periodicidad mensual con mapas ráster donde se puede notar que existen meses secos en el mes de junio, julio y agosto en ambos

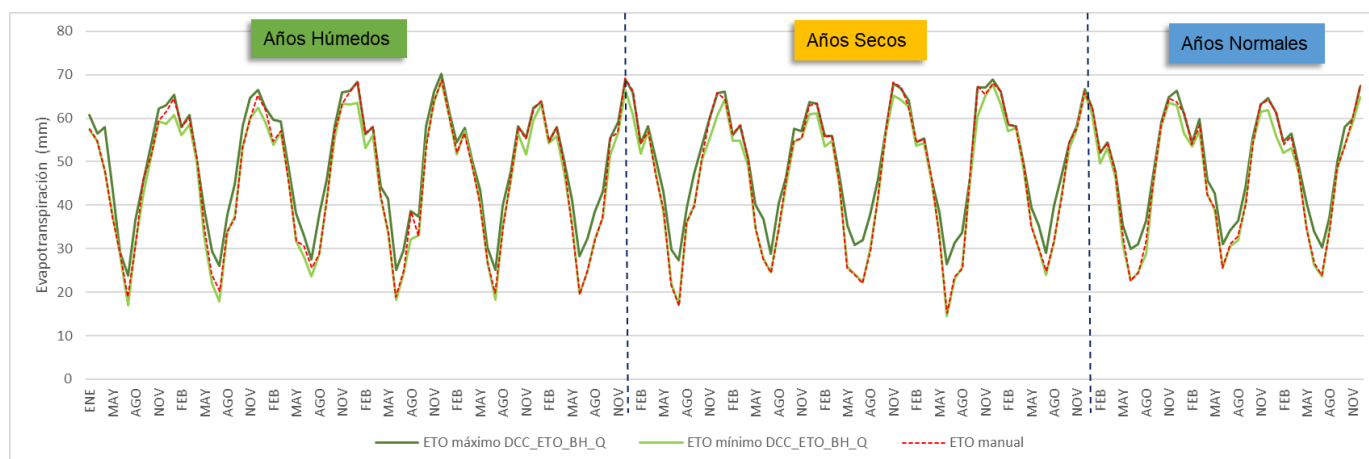
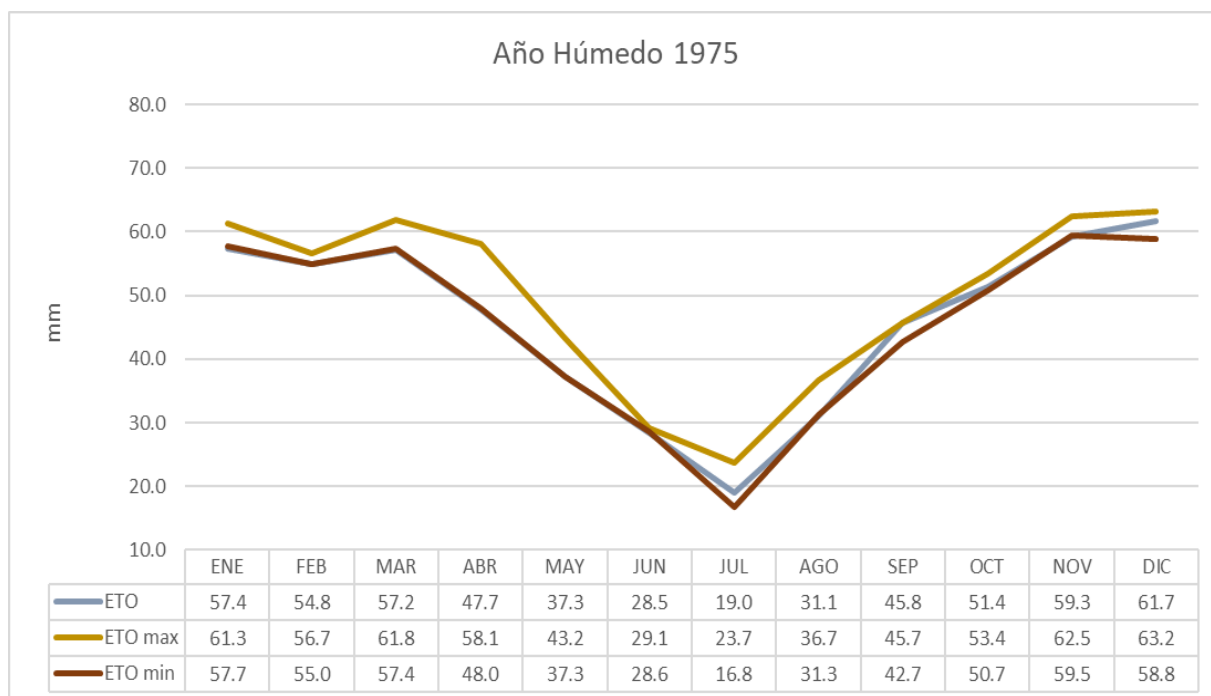
métodos aplicando el método de Penman Monteith (Figura 38) y mediante el método de Thornthwaite respectivamente. (Figura 39)

FIGURA 38. RESULTADOS DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN CON LA HIDROLOGÍA CLÁSICA Y LA AUTOMATIZACIÓN EN FORMATO RÁSTER- MÉTODO PENMAN MONTEITH



Fuente: Elaboración propia (2020)

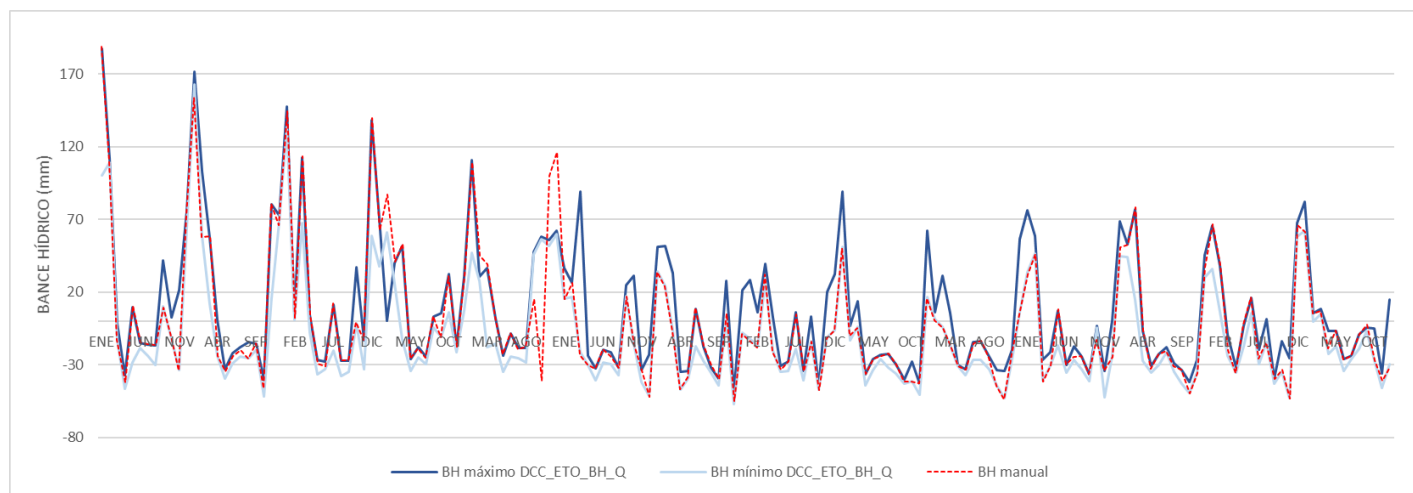
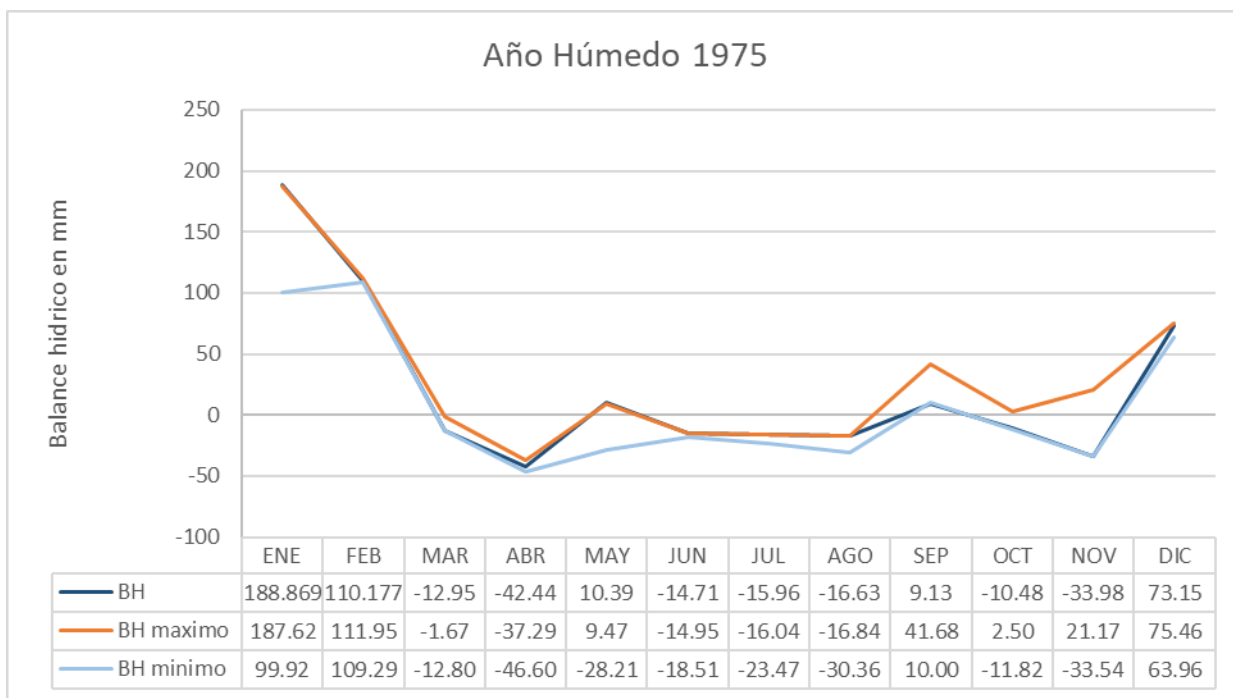
FIGURA 39. RESULTADOS DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN CON LA HIDROLOGÍA CLÁSICA Y LA AUTOMATIZACIÓN EN FORMATO RÁSTER- MÉTODO THORNTHWAITE



Fuente: Elaboración propia (2020)

La Figura 40 representa el balance hídrico del suelo para el año 1975, como puede observarse de abril a septiembre se experimenta un déficit de humedad y los excedentes desde el mes de diciembre a febrero.

FIGURA 40. RESULTADOS DE BALANCE HÍDRICO CON LA HIDROLOGÍA CLÁSICA Y LA AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS EN PYTHON



Fuente: Elaboración propia (2020)

En la Tabla 20 se muestra los resultados del cálculo de la escorrentía mediante la hidrología clásica y la herramienta DCC_ETO_BH_Q en hm3/mes donde podemos observar que presenta una escorrentía mínima en los años secos que es desde el año

1999 al 2010; por otro lado, en los años húmedos 1975 al 1985 presenta mayor presencia de caudal por tanto hay menos evapotranspiración.

TABLA 20. RESULTADOS DE ESCORRENTÍA CON LA HIDROLOGÍA CLÁSICA Y LA AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS EN PYTHON

C= 0.54		AÑOS HÚMEDOS						
A= 9.31								
	Año	Mes	P(mm)	Q (m³/mes)	Vol(hm³)	Vol Acum	Vol medio	Vacum- Vmedio
1	1978	ENERO	218.5	1098099.7	1.10	1.10	1.10	0.00
2		FEBRERO	115.8	581967.7	0.58	1.68	1.41	0.27
3		MARZO	118.6	596039.5	0.60	2.28	1.72	0.56
4		ABRIL	26.2	131671.5	0.13	2.41	2.03	0.38
5		MAYO	0.0	0.0	0.00	2.41	2.34	0.07
6		JUNIO	0.0	0.0	0.00	2.41	2.65	-0.24
7		JULIO	0.0	0.0	0.00	2.41	2.96	-0.55
8		AGOSTO	7.9	39702.5	0.04	2.45	3.27	-0.82
9		SEPTIEMBRE	22.0	110563.8	0.11	2.56	3.58	-1.02
10		OCTUBRE	6.8	34174.3	0.03	2.59	3.89	-1.30
11		NOVIEMBRE	140.9	708111.0	0.71	3.30	4.20	-0.90
12		DICIEMBRE	131.1	658859.8	0.66	3.96	4.51	-0.56
13	1979	ENERO	206.4	1037289.6	1.04	5.00	4.83	0.17
14		FEBRERO	56.7	284953.1	0.28	5.28	5.14	0.15
15		MARZO	170.5	856869.6	0.86	6.14	5.45	0.69
16		ABRIL	49.9	250778.8	0.25	6.39	5.76	0.63
17		MAYO	2.3	11558.9	0.01	6.40	6.07	0.33
18		JUNIO	0.0	0.0	0.00	6.40	6.38	0.02
19		JULIO	37.8	189968.7	0.19	6.59	6.69	-0.10
20		AGOSTO	1.9	9548.7	0.01	6.60	7.00	-0.40
21		SEPTIEMBRE	14.3	71866.5	0.07	6.67	7.31	-0.64
22		OCTUBRE	56.2	282440.3	0.28	6.95	7.62	-0.67
23		NOVIEMBRE	50.4	253291.7	0.25	7.21	7.93	-0.72
24		DICIEMBRE	205.7	1033771.7	1.03	8.24	8.24	0.00

Fuente: Elaboración propia (2020)

Determinando el balance hídrico a través de los modelos desarrollados en Python nos permitieron hacer un mejor empleo del recurso hídrico en beneficio a la población Sullkatiti Titiri.

3.5.1 Aplicación de resultados al caso de estudio - estimación del volumen útil presa Sullkatiti Titiri

Con los resultados obtenidos con la nueva herramienta programada, se procedió a la estimación del volumen útil de la presa Sullkatiti Titiri, para ello se utilizó el área, coeficiente de escorrentía y datos de precipitación media mensual.

El cálculo se realizó de acuerdo con lo especificado en el marco teórico en el acápite 2.1.7.1 curva masa o de volúmenes acumulados.

TABLA 21. VOLUMEN Y CAUDAL - AÑOS HÚMEDOS (1978-1979)

C= 0.54		AÑOS HÚMEDOS						
A= 9.31								
	Año	Mes	P(mm)	Q (m³/mes)	Vol(hm³)	Vol Acum	Vol medio	Vacum- Vmedio
1	1978	ENERO	218.5	1098099.7	1.10	1.10	1.10	0.00
2		FEBRERO	115.8	581967.7	0.58	1.68	1.41	0.27
3		MARZO	118.6	596039.5	0.60	2.28	1.72	0.56
4		ABRIL	26.2	131671.5	0.13	2.41	2.03	0.38
5		MAYO	0.0	0.0	0.00	2.41	2.34	0.07
6		JUNIO	0.0	0.0	0.00	2.41	2.65	-0.24
7		JULIO	0.0	0.0	0.00	2.41	2.96	-0.55
8		AGOSTO	7.9	39702.5	0.04	2.45	3.27	-0.82
9		SEPTIEMBRE	22.0	110563.8	0.11	2.56	3.58	-1.02
10		OCTUBRE	6.8	34174.3	0.03	2.59	3.89	-1.30
11		NOVIEMBRE	140.9	708111.0	0.71	3.30	4.20	-0.90
12		DICIEMBRE	131.1	658859.8	0.66	3.96	4.51	-0.56
13	1979	ENERO	206.4	1037289.6	1.04	5.00	4.83	0.17
14		FEBRERO	56.7	284953.1	0.28	5.28	5.14	0.15
15		MARZO	170.5	856869.6	0.86	6.14	5.45	0.69
16		ABRIL	49.9	250778.8	0.25	6.39	5.76	0.63
17		MAYO	2.3	11558.9	0.01	6.40	6.07	0.33
18		JUNIO	0.0	0.0	0.00	6.40	6.38	0.02
19		JULIO	37.8	189968.7	0.19	6.59	6.69	-0.10
20		AGOSTO	1.9	9548.7	0.01	6.60	7.00	-0.40
21		SEPTIEMBRE	14.3	71866.5	0.07	6.67	7.31	-0.64
22		OCTUBRE	56.2	282440.3	0.28	6.95	7.62	-0.67
23		NOVIEMBRE	50.4	253291.7	0.25	7.21	7.93	-0.72
24		DICIEMBRE	205.7	1033771.7	1.03	8.24	8.24	0.00

$$\begin{aligned} \text{VOL MAX} &= 0.69 \text{ hm}^3 \\ \text{VOL MIN} &= -1.30 \text{ hm}^3 \\ \text{VOL UTIL} &= 1.99 \text{ hm}^3 \end{aligned}$$

Fuente: Elaboración propia (2020)

Ecuación de la recta:

$$y = 0.310584x + 0.787516$$

La Tabla 21 representa el diagrama de masas para años húmedos de (1978-1979) donde los valores que están por encima de la pendiente representan las excedencias y por otro lado, los que están por debajo representan déficit.

TABLA 22. VOLUMEN Y CAUDAL - AÑOS SECOS (2008-2009-2010)

C= 0.54		AÑOS SECOS						
A= 9.31								
	Año	Mes	P(mm)	Q (m³/mes)	Vol(hm³)	Vol Acum	Vol medio	Vacum- Vmedio
1	2008	ENERO	113.6	570911.36	0.57	0.57	0.57	0.00
2		FEBRERO	45.8	230173.77	0.23	0.80	0.71	0.10
3		MARZO	51.4	258317.29	0.26	1.06	0.84	0.22
4		ABRIL	8.2	41210.15	0.04	1.10	0.97	0.13
5		MAYO	0.0	0.000	0.00	1.10	1.11	-0.01
6		JUNIO	0.0	0.000	0.00	1.10	1.24	-0.14
7		JULIO	0.0	0.000	0.00	1.10	1.38	-0.28
8		AGOSTO	0.0	0.000	0.00	1.10	1.51	-0.41
9		SEPTIEMBRE	0.0	0.000	0.00	1.10	1.65	-0.55
10		OCTUBRE	15.1	75886.98	0.08	1.18	1.78	-0.60
11		NOVIEMBRE	25.4	127650.95	0.13	1.30	1.92	-0.61
12		DICIEMBRE	82.6	415116.88	0.42	1.72	2.05	-0.33
13	2009	ENERO	63.5	319127.39	0.32	2.04	2.18	-0.15
14		FEBRERO	49.5	248768.59	0.25	2.29	2.32	-0.03
15		MARZO	38.4	192984.12	0.19	2.48	2.45	0.03
16		ABRIL	14.9	74881.86	0.07	2.56	2.59	-0.03
17		MAYO	0.0	0.000	0.00	2.56	2.72	-0.17
18		JUNIO	0.0	0.000	0.00	2.56	2.86	-0.30
19		JULIO	9.9	49753.72	0.05	2.60	2.99	-0.39
20		AGOSTO	0.0	0.000	0.00	2.60	3.13	-0.52
21		SEPTIEMBRE	1.4	7035.88	0.01	2.61	3.26	-0.65
22		OCTUBRE	13.8	69353.67	0.07	2.68	3.40	-0.71
23		NOVIEMBRE	42.8	215096.88	0.22	2.90	3.53	-0.63
24		DICIEMBRE	73.0	366870.85	0.37	3.26	3.66	-0.40
25	2010	ENERO	98.6	495526.93	0.50	3.76	3.80	-0.04
26		FEBRERO	104.6	525680.70	0.53	4.28	3.93	0.35
27		MARZO	16.4	82420.30	0.08	4.37	4.07	0.30
28		ABRIL	18.3	91968.99	0.09	4.46	4.20	0.26
29		MAYO	43.3	217609.70	0.22	4.68	4.34	0.34
30		JUNIO	0.0	0.000	0.00	4.68	4.47	0.20
31		JULIO	0.0	0.000	0.00	4.68	4.61	0.07
32		AGOSTO	7.5	37692.21	0.04	4.71	4.74	-0.03
33		SEPTIEMBRE	5.6	28143.52	0.03	4.74	4.87	-0.13
34		OCTUBRE	41.8	210071.26	0.21	4.95	5.01	-0.06
35		NOVIEMBRE	23.7	119107.39	0.12	5.07	5.14	-0.07
36		DICIEMBRE	41.2	207055.88	0.21	5.28	5.28	0.00

VOL MAX	=	0.35 hm ³
VOL MIN	=	-0.71 hm ³
VOL UTIL	=	1.07 hm ³

Fuente: Elaboración propia (2020)

Ecuación de la recta: $y = 0.13453x + 0.4364$

TABLA 23. VOLUMEN Y CAUDAL - AÑOS NORMALES (2011-2012-2013)

C= 0.54 A= 9.31		AÑOS NORMALES						
	Año	Mes	P(mm)	Q (m ³ /mes)	Vol(hm ³)	Vol Acum	Vol medio	Vacum- Vmedio
1	2011	ENERO	36.9	185445.68	0.19	0.19	0.19	0.00
2		FEBRERO	113.5	570408.79	0.57	0.76	0.40	0.36
3		MARZO	63.3	318122.26	0.32	1.07	0.61	0.46
4		ABRIL	6.5	32666.583	0.03	1.11	0.82	0.28
5		MAYO	6.6	33169.146	0.03	1.14	1.03	0.11
6		JUNIO	0	0.000	0.00	1.14	1.25	-0.11
7		JULIO	12.3	61815.226	0.06	1.20	1.46	-0.26
8		AGOSTO	0	0.000	0.00	1.20	1.67	-0.47
9		SEPTIEMBRE	16.1	80912.613	0.08	1.28	1.88	-0.60
10		OCTUBRE	12	60307.538	0.06	1.34	2.09	-0.75
11		NOVIEMBRE	39.1	196502.06	0.20	1.54	2.31	-0.77
12		DICIEMBRE	131	658357.28	0.66	2.20	2.52	-0.32
13	2012	ENERO	113.2	568901.1	0.57	2.77	2.73	0.04
14		FEBRERO	105	527690.95	0.53	3.29	2.94	0.35
15		MARZO	132.7	666900.85	0.67	3.96	3.15	0.81
16		ABRIL	41.2	207055.88	0.21	4.17	3.37	0.80
17		MAYO	0	0.000	0.00	4.17	3.58	0.59
18		JUNIO	0	0.000	0.00	4.17	3.79	0.38
19		JULIO	3.7	18594.824	0.02	4.19	4.00	0.18
20		AGOSTO	0	0.000	0.00	4.19	4.21	-0.03
21		SEPTIEMBRE	12.6	63322.914	0.06	4.25	4.43	-0.18
22		OCTUBRE	8.9	44728.09	0.04	4.29	4.64	-0.34
23		NOVIEMBRE	28.8	144738.09	0.14	4.44	4.85	-0.41
24		DICIEMBRE	101.2	508593.57	0.51	4.95	5.06	-0.12
25	2013	ENERO	127.7	641772.71	0.64	5.59	5.28	0.31
26		FEBRERO	92.7	465875.73	0.47	6.06	5.49	0.57
27		MARZO	38.4	192984.12	0.19	6.25	5.70	0.55
28		ABRIL	6.7	33671.708	0.03	6.28	5.91	0.37
29		MAYO	36.6	183937.99	0.18	6.47	6.12	0.34
30		JUNIO	41.8	210071.26	0.21	6.68	6.34	0.34
31		JULIO	5.5	27640.955	0.03	6.70	6.55	0.16
32		AGOSTO	18.4	92471.558	0.09	6.80	6.76	0.04
33		SEPTIEMBRE	0.6	3015.3769	0.00	6.80	6.97	-0.17
34		OCTUBRE	20.7	104030.5	0.10	6.90	7.18	-0.28
35		NOVIEMBRE	9.8	49251.156	0.05	6.95	7.40	-0.44
36		DICIEMBRE	130.4	655341.91	0.66	7.61	7.61	0.00

VOL MAX=	0.807 hm ³
VOL MIN=	-0.77 hm ³
VOL UTIL=	1.574 hm ³

Fuente: Elaboración propia (2020)

FIGURA 41. DIAGRAMA DE MASAS - AÑOS HÚMEDOS (1978-1979)

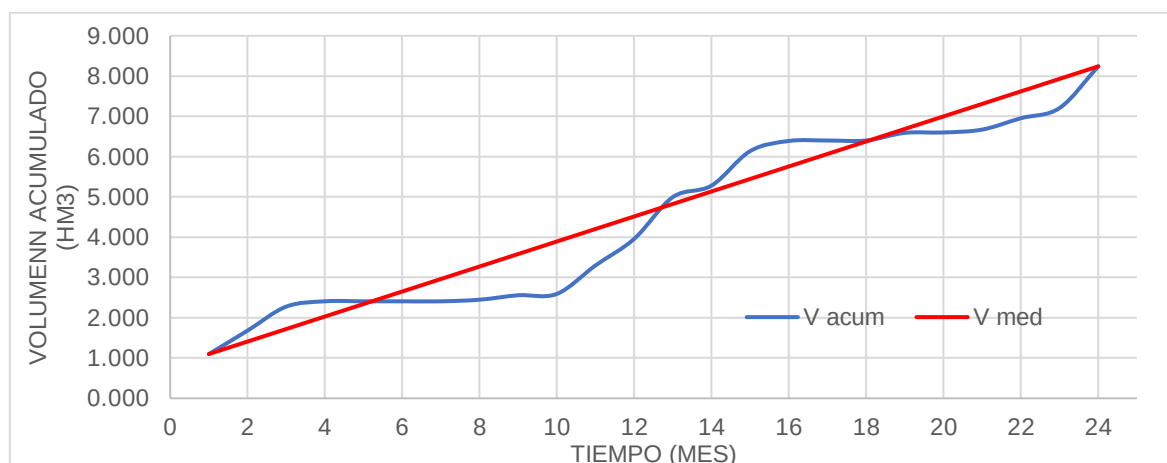


FIGURA 42. DIAGRAMA DE MASAS - AÑOS SECOS (2008-2009-2010)

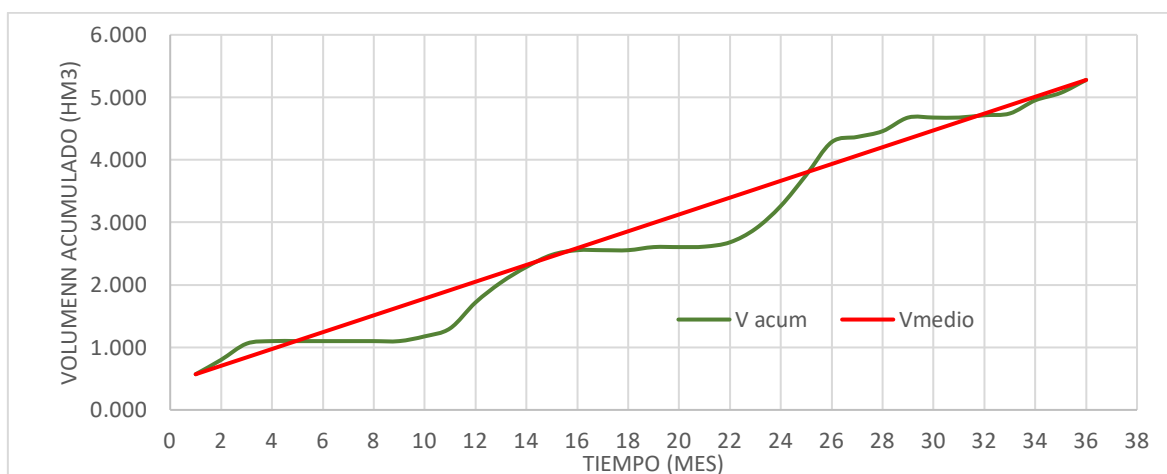
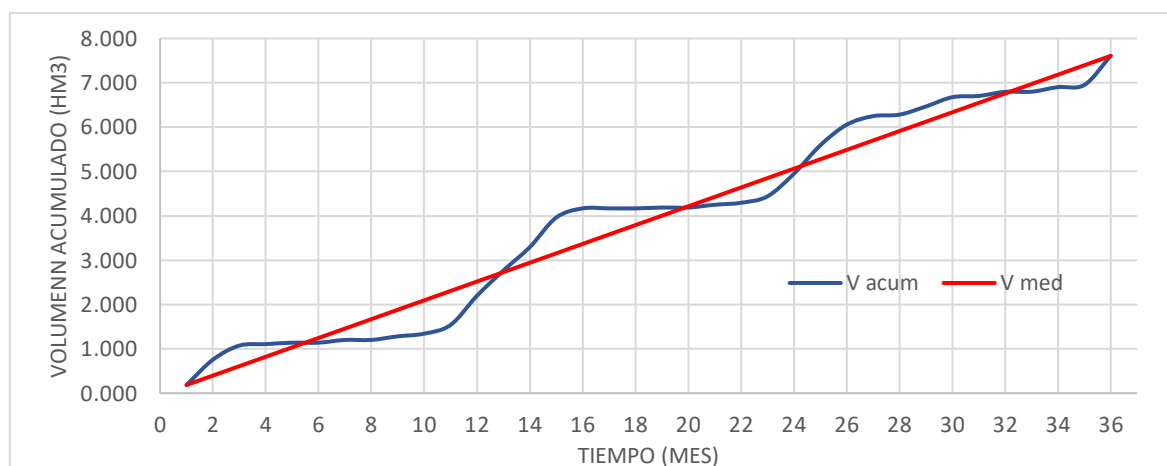


FIGURA 43. DIAGRAMA DE MASAS - AÑOS NORMALES (2011-2012-2013)



Fuente: Elaboración propia (2020)

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



CAPITULO 4

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- a) Se realizó el análisis de información hidrometeorológica de la zona del proyecto, obteniendo valores representativos para años secos, húmedos y normales a partir del ajuste de los datos de temperatura y precipitación de 42 años de la estación Tiwanaku a leyes de probabilidad. También se determinaron las características geomorfológicas de la cuenca del río Quereni la cual tiene, por ejemplo un área de 9.31km^2 y un perímetro igual a 15.24 km y se caracteriza por ser una cuenca con un gran potencial erosivo.
- b) Se calculó manualmente de las variables de Evapotranspiración, Balance Hídrico y Escorrentía mediante la hidrología convencional. La evapotranspiración, calculada por lo métodos de Thornthwaite y Penman – Monteith, arrojaron valores de 551.2 mm/año y 1322.8 mm/año respectivamente, debido a que Thornthwaite arroja valores promedio mensuales. El balance hídrico calculado, muestra que desde el mes de abril a septiembre se experimenta un déficit de 27.6 mm/año correspondiente a la época seca y el excedente, época húmeda, ocurre en promedio desde diciembre a febrero con un valor total 272.2 mm/año. Finalmente la escorrentía alcanzó un valor final de aporte de $2.53\text{ hm}^3/\text{año}$.
- c) Se ha programado en Python el algoritmo Evapotranspiración, Balance Hídrico y Escorrentía denominado como: **DCC_ETO_BH_Q**; este script necesita datos de precipitación, temperatura, altitud, longitud y la delimitación de la cuenca para su posterior ejecución.

- d) Con la herramienta **DCC_ETO_BH_Q** se volvió a calcular las variables de Evapotranspiración, Balance Hídrico y Escorrentía; teniendo parámetros de máximos y mínimos en el ráster.
- e) Las variables obtenidas con la hidrología convencional y con la herramienta **DCC_ETO_BH_Q** fueron comparadas y analizadas de manera gráfica, concluyendo que la herramienta reproduce la variabilidad temporal de estos valores calculados manualmente: Evapotranspiración, Balance Hídrico y Escorrentía.
- f) Finalmente podemos concluir que se alcanzó el objetivo principal de evaluar las variables de Evapotranspiración, Balance Hídrico y Escorrentía mediante la herramienta propia **DCC_ETO_BH_Q**, creada en Python 2.7. Se resalta el ahorro considerable de tiempo al momento de ejecutar el programa, su fácil uso, la reducción de errores humanos al momento de calcular las variables y se ha demostrado que esta nueva herramienta si reproduce los valores obtenidos con la hidrología convencional.

4.2 RECOMENDACIONES

- a) Se sugiere tener más de 30 años de registro histórico para que el modelo hidrológico pueda reproducir la estadística de la serie histórica.
- b) Se recomienda disponer de datos de evapotranspiración medidas en el lugar para poder calibrar los métodos empíricos de cálculo.
- c) El lenguaje de programación en Python fue seleccionado por sus amplias capacidades; sin embargo se recomienda hacer uso de otros lenguajes de programación disponibles en las plataformas SIG para el cálculo de variables hidrológicas.
- d) Utilizar imágenes satelitales de mejor precisión como de 15x15 o 12x12m para volver a calcular las variables y verificar el aporte de esta precisión en el cálculo.

- e) Con la metodología mostrada en este trabajo se sugiere evaluar y programar en Python otras variables hidrológicas como la avenida máxima, áreas de sequía, áreas de inundación entre otros. Consecuentemente se recomienda agrupar o encadenar en un solo programa el cálculo de todas estas variables hidrológicas.
- f) Se recomienda hacer un solo programa que encadene todas las variables hidrológicas.
- g) Esta herramienta sirve tanto a docentes, alumnos, consultores, constructores proyectistas y personas que trabajan con hidrología, agronomía, medio ambientes, riego, agua potable entre otros y se puede utilizar en varias etapas de un proyecto; por lo que se recomienda la divulgación de la herramienta **DCC_ETO_BH_Q** en nuestra universidad a través de la docencia y talleres de capacitación para luego llevarlo al ámbito laboral, pero siempre citando la fuente del autor: Diana Choque Calle.DCC_ETO_BH.2020

BIBLIOGRAFÍA



BIBLIOGRAFÍA

- ALCOBENDAS, P., & MORENO, M. (s.f.). Necesidad de riego de los cultivos. UCLM.
- ANÓNIMO. (s.f.). Hidrologia I. Cap2. Precipitación.
- APARICIO, F. (1989). Fundamentos de hidrología de superficie. Mexico: Limusa.
- AROS, V. (1997). Apuntes de Hidrología. Chile: Concepción.
- CHAVEZ, D. (2004). Hidrologia. En C. Diaz, Hdrologia.
- CHERREQUE, W. (2005). Hidrología. En W. Cherreque, Hidrología. Lima - Perú: CONCYTEC.
- CONAGUA. (2008). Desarrollo de un modelo de Sistema de Informacion Geografica y revisar e identificar las parcelas que requieren actualización en el padron de usuarios del distrito de riego 061 Zamora . Michoacán.
- DINGMAN. (199). Physical Hydrology. Estados Unidos de America: Prentice-Hall.
- DINGMAN, S. L. (1994). Physical Hydrology. Estados Unidos de America: Prentice-Hall.
- DOMINGUEZ, M. A., & Leticia, P. (Octubre de 2011). Desarrollo de herramientas de ArcGis para el cálculo de indicadores físicos y socioeconómicos de cuencas hidrograficas. Maestria en Gestion Integrada de Cuencas. Santiago de Querétaro, Mexico.
- GARCIA, M., PUPPO, L., & Hayashi, R. (2013). Metodologia para determinar los parámetros hídricos de un suelo a campo. Uruguay.
- IBAÑEZ SARA, e. a. (2011). Morfologia de las cuencas hidrograficas. Universidad tecnica de Valencia.
- LINSLEY, KHOLER, & PAULUS. (1982). Hidrologia para Ingenieros. Bogotá: McGraw-hill.
- MÁXIMO, V. (2002). Hidrología. Costa Rica: MaxSoft.

- MONICA, M. (20 de Mayo de 2017). Edu TIG. Obtenido de <http://www.edutig.org/porque-elegir-qgis/>
- MONSALVEZ, G. (1995). Hidrología en la Ingeniería. Santafé de Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- MONTOYA, G. (2018). Modelamiento hidrológico para el cálculo de caudales mediante el empleo de tecnologías de Información Geográfica caso de estudio: "Cuenca del río Choqueyapu". La Paz.
- OLAYA, V. (2014). Sistemas de Información Geográfica. España: Copyright.
- ORDOÑEZ G, J. J. (2011). Cartilla Técnica: Balance Hídrico Superficial. Lima, Perú.
- ORDOÑEZ, G. J. (2011). Cartilla Técnica: Aguas Subterráneas-Acuíferos. Lima, Perú: Primavera.
- P, S. (Abril de 2010). Taller SIG. Obtenido de Geolocate: http://www.gbif.es/gbif/ficheros/TallerSIGGeolocate_10/cuadernillo2010.pdf
- SOLIZ, F. H. (2018). Hidrología. La Paz, Murillo, Bolivia.
- TUCCI, C. (2004). Hidrología: Ciencia y aplicación. Porto Alegre.
- VALTIERRA, J. (2007). Desarrollo de una herramienta computacional para el diagnóstico hidrológico de cuencas. Tesis Maestría en Gestión Integrada de Cuencas. Querétaro.
- WEIMAR, A. &. (2009). Texto Alumno de Hidrología . Cochabamba.

ANEXOS



ANEXO A

**Tablas para el cálculo de
Precipitación y Datos
Meteorológicos**



ANEXOS

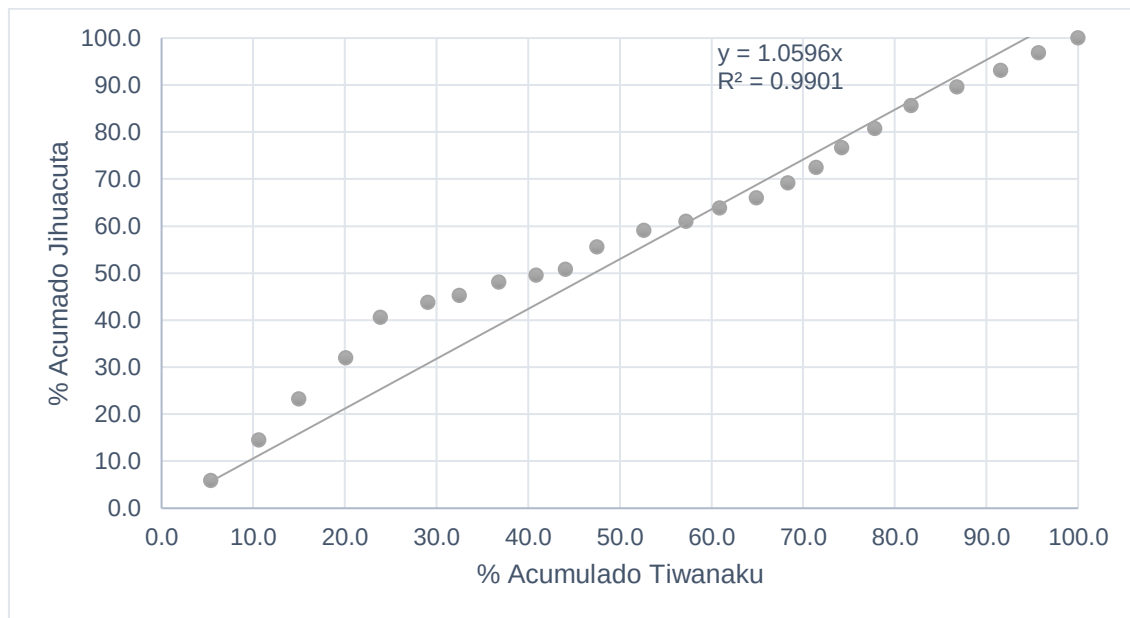
ANEXO A: TABLAS PARA EL CÁLCULO DE PRECIPITACIÓN Y DATOS METEOROLÓGICOS

TABLA 24. DIAGRAMA DE MASAS PARA LA CORRELACIÓN DE DATOS

AÑOS	TIWANAKU	JIHUACUTA	Acum	Acum	% Acum	% Acum
			TIWANAKU	JIHUACUTA	TIWANAKU	JIHUACUTA
1986	592.7	1330.9	592.7	1330.9	5.4	5.8
1988	579.2	1988	1171.9	3318.9	10.6	14.5
1989	482.6	1989	1654.5	5307.9	15.0	23.2
1990	567.8	1990	2222.3	7297.9	20.1	31.9
1991	415.7	1991	2638.0	9288.9	23.9	40.6
1993	568.4	708.3	3206.4	9997.2	29.0	43.7
1995	382.2	333.4	3588.6	10330.6	32.5	45.2
1997	448.2	653.3	4036.8	10983.9	36.6	48.0
1998	458.1	332.9	4494.9	11316.8	40.7	49.5
2000	382.5	303.9	4877.4	11620.7	44.2	50.8
2001	560.8	1092.2	5438.2	12712.9	49.3	55.6
2002	508.8	783.3	5947.0	13496.2	53.9	59.0
2003	403.1	446.2	6350.1	13942.4	57.5	61.0
2004	444.4	641.6	6794.5	14584.0	61.6	63.8
2005	425.0	492	7219.5	15076.0	65.4	65.9
2008	342.1	742.4	7561.6	15818.4	68.5	69.2
2009	307.2	745.2	7868.8	16563.6	71.3	72.4
2010	401.0	953.5	8269.8	17517.1	74.9	76.6
2011	437.3	951.4	8707.1	18468.5	78.9	80.8
2012	547.3	1117.2	9254.4	19585.7	83.8	85.6
2013	529.3	891.7	9783.7	20477.4	88.6	89.5
2014	455.1	822.3	10238.8	21299.7	92.8	93.1
2015	476.6	841.4	10715.4	22141.1	97.1	96.8
2016	322.8	729.3	11038.2	22870.4	100.0	100.0

Fuente: Elaboración propia

TABLA 25. CORRELACIÓN DE DATOS



Fuente: Elaboración propia

TABLA 26. PRECIPITACIÓN TOTAL: ESTACIÓN TIWANAKU

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1974	138.1	143.8	68.8	35.8	0.4	5.2	3.5	84.6	4.8	45.8	36.2	89.7	656.7
1975	246.3	165	44.3	5.3	47.7	13.8	3	14.5	54.9	40.9	25.3	134.8	795.8
1976	164.9	99.6	55	21.5	18.7	0.5	19.5	18.7	87.3	2.1	26.7	71	585.5
1977	113	131.6	76.3	3.2	15.8	0	26.8	2.1	30.8	44.4	103.7	126.3	674
1978	218.5	115.8	118.6	26.2	0	0	0	7.9	22	6.8	140.9	131.1	787.8
1979	206.4	56.7	170.5	49.9	2.3	0	37.8	1.9	14.3	56.2	50.4	205.7	852.1
1980	66.1	67.9	107	3.9	0	0.2	61.3	29.4	46.4	100.1	21	41.6	544.9
1981	130.9	143.9	98.8	95.4	7.8	0	0	42.2	21.6	84.9	46.2	99.9	771.6
1982	188.1	49.7	122.1	45.5	0	1.1	0	1.2	52.1	63.6	87	59.4	669.8
1983	49.6	59.2	37.7	56.5	33.7	16.7	2.1	24.2	45.6	7.8	44.9	80	458
1984	243.9	119.3	****	****	2	6.8	5	14.9	0	41.9	73.4	99.2	****
1985	170.2	97	95.5	51.6	17.8	18.6	0.3	17.2	60.9	17	155.5	178.3	879.9
1986	74	123.6	118.8	47.3	18	0	0	5.3	27.5	15.1	64.2	98.9	592.7
1987	240	40.3	68.4	26.1	14.7	18.8	18.4	1.3	22.8	82.8	71	29.7	634.3
1988	105.2	75.1	155.8	117	16	0	0	0	14.8	10	26.7	58.6	579.2
1989	98.9	81.4	17	47.3	3	8.3	2.7	7.1	37	21.4	44.2	114.3	482.6
1990	136.3	55.3	26.9	20.9	40	31.4	0	5.3	0	11.8	114.5	125.4	567.8
1991	112.5	60.5	116.8	12.4	11.2	15.2	5.3	0.5	0.2	27.4	22.4	31.3	415.7
1992	121.8	84.4	42.6	6.5	0	5.1	4.9	34.1	0.9	27	66.5	72.3	466.1
1993	143.5	58.7	92.7	17	0.3	3.1	0	19.6	31	53.8	62.7	86	568.4
1994	****	96.8	51.8	32	9	2.4	0	0	8.2	30.6	71.2	91.7	****
1995	82.8	57.9	67.6	19.7	0.5	0	0	7.1	13.9	3.5	41.6	87.6	382.2
1996	129.4	44.7	52.1	40.3	6.4	0.4	6	12.4	3	20.1	46.3	116	477.1
1997	109.5	125.4	52.8	23.3	7.9	0	0	15	26.3	25.7	32.9	29.4	448.2
1998	74.4	122	79.8	37	0	16.7	0	1	0	45.2	62.5	19.5	458.1
1999	78.8	80.9	34.4	18.9	3	0	0.7	0	54.2	38.8	22.9	17.1	349.7
2000	100.2	78	49.9	0	0	30.9	0	5.3	0	55.8	5	57.4	382.5
2001	245.4	110.3	61.3	25.6	1.5	1.7	1.7	7.2	15.5	37.5	18.5	34.6	560.8
2002	91	99.7	84.4	63.7	7.6	7.6	41.2	4.2	1.5	44.2	19.8	43.9	508.8
2003	78.2	96.5	66.6	6.4	2.1	0	0	0	18	11.3	27.5	96.5	403.1
2004	142.8	86.5	44.4	16.2	0	0	22.8	23.9	15.4	15.5	28.8	48.1	444.4
2005	70.9	96.3	28.5	17.6	1.6	0	0	3.1	15.1	58.8	64.2	68.9	425
2006	169.2	75	59.3	19.2	0	0	0	10.5	5	31.9	56.9	50.3	477.3
2007	50.7	38.4	90.3	29.9	1.2	0	29.1	0	32.1	7.3	43.6	56.4	379
2008	113.6	45.8	51.4	8.2	0	0	0	0	0	15.1	25.4	82.6	342.1
2009	63.5	49.5	38.4	14.9	0	0	9.9	0	1.4	13.8	42.8	73	307.2
2010	98.6	104.6	16.4	18.3	43.3	0	0	7.5	5.6	41.8	23.7	41.2	401
2011	36.9	113.5	63.3	6.5	6.6	0	12.3	0	16.1	12	39.1	131	437.3
2012	113.2	105	132.7	41.2	0	0	3.7	0	12.6	8.9	28.8	101.2	547.3
2013	127.7	92.7	38.4	6.7	36.6	41.8	5.5	18.4	0.6	20.7	9.8	130.4	529.3
2014	122.9	59.3	63	28.9	28.3	0	0	25.6	46	26.6	18.7	35.8	455.1
2015	145.8	70.3	39.3	38.4	0.8	0	12.4	25.8	31.6	33.5	21.7	57	476.6
2016	75.1	103.1	19.1	69.2	0	0	0.9	0	0	18.2	2.4	34.8	322.8

Fuente: SENAMHI

Llenado en base al promedio para el mes de enero, marzo y abril

Sigue el modelo

$$y = a$$

Donde y es la estimación del dato faltante, y a , es el promedio obtenido con los registros de la variable de interés en otros tiempos. Aunque esta estrategia es sencilla, tiende a subestimar la variabilidad real.

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}$$

$$\bar{y}_{Enero} = \frac{138.1 + 246.3 + \dots + 75.1}{42}$$

$$\bar{y}_{Enero} = 125.9 \text{ mm}$$

$$y_{Marzo} = \frac{68.8 + 44.3 + \dots + 19.1}{42}$$

$$\bar{y}_{Marzo} = 69.5 \text{ mm}$$

$$\bar{y}_{Abril} = \frac{35.8 + 5.3 + \dots + 69.2}{42}$$

$$\bar{y}_{Abril} = 30.3 \text{ mm}$$

TABLA 27. TEMPERATURA MÁXIMA (°C)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1974	14.4	14.2	16.0	15.4	15.9	14.1	15.3	11.7	16.3	16.9	19.2	16.5	15.5
1975	14.6	14.9	16.2	17.3	14.8	13.7	14.0	15.6	15.5	16.4	18.3	15.7	15.6
1976	13.8	16.2	16.3	16.6	14.6	14.3	14.3	14.4	14.6	18.4	18.5	18.3	15.9
1977	17.9	15.8	15.7	17.2	15.2	14.7	14.6	16.1	16.2	17.7	17.8	18.6	16.5
1978	16.2	17.6	17.6	17.6	17.1	15.0	14.7	15.7	16.2	18.8	17.2	16.4	16.7
1979	14.9	16.3	16.1	15.9	16.1	15.6	14.3	16.2	17.6	17.4	18.8	17.2	16.4
1980	17.7	18.0	16.4	17.0	16.9	16.2	15.4	16.1	15.8	17.2	19.6	18.8	17.1
1981	17.0	16.3	16.7	16.6	16.8	15.5	16.4	16.2	15.4	16.9	17.9	17.9	16.6
1982	16.6	17.3	16.8	16.5	15.8	15.0	15.7	16.3	17.0	17.4	18.2	18.1	16.7
1983	18.7	18.7	18.4	18.9	17.7	17.6	18.0	17.8	18.0	18.9	19.0	18.6	18.4
1984	16.6	18.1	****	****	16.6	14.6	14.6	14.7	17.2	17.7	17.4	17.0	****
1985	15.5	14.7	16.5	16.2	16.2	13.7	14.2	16.8	15.7	19.4	15.0	15.6	15.8
1986	16.3	15.5	15.4	15.5	14.4	15.2	13.4	15.3	16.4	17.8	18.8	16.5	15.9
1987	14.9	17.1	16.5	17.1	16.2	14.3	14.4	17.0	18.1	17.7	18.5	18.6	16.7
1988	16.7	17.1	15.5	15.5	14.9	14.4	15.0	17.7	17.6	18.5	18.9	16.9	16.6
1989	15.8	15.4	15.6	15.2	15.9	14.8	14.1	15.5	17.0	18.2	17.9	18.4	16.1
1990	15.6	16.4	17.7	17.2	16.2	12.9	13.7	15.6	17.5	18.0	17.9	16.9	16.3
1991	16.9	17.2	16.4	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****
1992	****	****	****	****	****	****	****	****	15.6	13.1	16.5	17.1	****
1993	14.8	15.6	14.8	16.2	15.8	14.9	14.3	14.0	15.6	16.4	17.4	16.6	15.5
1994	****	15.4	15.5	15.7	15.6	14.8	14.9	16.2	16.9	17.6	17.2	16.7	****
1995	16.0	17.2	15.9	16.9	16.9	15.1	15.6	17.9	17.1	19.2	18.7	16.9	16.9
1996	15.9	15.6	16.9	16.4	15.8	14.5	14.2	15.8	16.4	18.3	16.7	16.1	16.0
1997	15.9	15.6	15.7	15.4	15.2	14.9	15.6	14.0	16.9	18.1	18.6	19.7	16.3
1998	18.0	17.8	18.1	17.6	16.8	16.0	15.6	16.9	17.4	18.0	17.8	18.6	17.4
1999	16.4	14.7	14.9	15.6	15.7	14.5	14.4	15.9	16.0	16.5	18.0	18.8	16.0
2000	16.6	15.5	15.8	17.4	16.8	14.2	13.7	15.4	17.8	16.6	19.8	17.7	16.4
2001	15.0	15.5	15.8	16.9	15.8	14.9	14.4	15.7	16.6	17.7	19.9	18.2	16.4
2002	18.1	16.3	16.4	16.4	16.3	15.6	12.7	15.6	17.4	17.5	18.4	18.0	16.6
2003	17.2	16.4	16.1	17.2	16.4	15.7	15.5	15.9	16.1	18.3	18.9	18.4	16.8
2004	15.1	15.3	17.8	17.4	15.5	14.5	13.4	15.0	16.6	18.4	19.2	18.4	16.4
2005	16.8	15.5	18.0	18.2	17.0	15.5	15.7	16.6	16.3	16.6	17.3	17.7	16.8
2006	15.8	16.5	16.8	16.6	15.7	14.9	15.2	15.9	16.8	18.2	17.4	17.5	16.4
2007	17.1	17.0	16.6	17.2	16.1	16.5	14.3	16.4	15.7	18.2	17.9	17.2	16.7
2008	14.8	16.1	16.4	17.3	15.8	15.5	15.4	16.4	17.6	17.9	19.8	16.9	16.7
2009	16.4	16.4	16.3	17.2	16.6	15.6	14.6	16.3	18.4	19.8	18.5	17.6	17.0
2010	16.8	17.1	18.0	18.9	16.9	16.4	15.9	17.6	18.1	17.9	19.3	17.9	17.6
2011	17.4	15.2	15.3	17.4	16.7	15.8	14.7	16.7	17.0	17.8	19.0	16.5	16.6
2012	15.3	14.8	15.4	15.6	15.8	14.8	14.9	16.5	17.8	18.6	18.6	15.6	16.1
2013	15.7	15.8	17.3	18.0	16.4	14.1	15.1	15.8	17.2	17.4	19.1	16.2	16.5
2014	15.2	16.0	17.0	17.0	15.9	16.0	14.7	15.7	15.8	17.0	18.8	18.1	16.4
2015	14.8	15.9	15.9	15.5	15.3	16.6	15.5	16.1	16.8	17.8	18.7	18.5	16.4
2016	17.9	16.6	19.5	16.9	16.7	15.4	16.0	16.7	18.0	19.4	19.6	19.2	17.7

Fuente: SENAMHI

TABLA 28. TEMPERATURA MÍNIMA (°C)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1974	3.2	3.5	1.8	0.1	-6.8	-7.7	-6.3	-4.5	-2.5	0.0	0.1	2.4	-1.4
1975	2.4	4.0	2.1	-1.1	-2.5	-4.3	-8.5	-5.9	-0.5	-0.5	0.4	3.0	-1.0
1976	3.4	3.3	2.2	-2.3	-5.0	-7.0	-5.6	-4.4	-0.4	-2.9	-0.5	2.3	-1.4
1977	3.2	4.0	3.3	-1.5	-5.0	-9.8	-5.4	-6.1	0.1	0.8	3.2	3.2	-0.8
1978	4.4	3.7	3.1	0.9	-4.9	-6.4	-7.9	-4.0	-3.4	-1.1	2.9	4.5	-0.7
1979	4.8	3.5	3.4	0.4	-5.0	-4.5	-5.5	-6.6	-3.2	1.5	2.4	3.7	-0.4
1980	3.7	3.0	3.5	-2.1	-5.2	-7.2	-3.5	-3.4	-2.2	1.7	2.3	1.7	-0.6
1981	5.1	4.2	3.0	-1.4	-5.0	-8.8	-7.8	-2.9	-4.2	0.9	3.4	4.2	-0.8
1982	4.1	2.7	2.2	1.5	-5.2	-9.4	-11.6	-11.6	-8.4	****	****	****	****
1983	-3.1	3.6	3.8	3.6	-5.6	-7.3	-11.9	-13.0	-0.7	-3.1	-1.9	2.9	-2.7
1984	4.4	4.2	****	****	-3.3	-4.5	-6.7	-4.4	-3.3	3.0	2.8	2.3	****
1985	4.2	4.6	3.1	1.9	-1.3	-3.8	-7.5	-4.6	0.7	0.1	3.5	4.5	0.4
1986	4.2	4.0	3.7	2.0	-4.8	-6.7	-7.4	-5.5	-1.1	-1.7	1.9	4.2	-0.6
1987	5.6	2.7	2.6	0.3	-2.8	-5.3	-5.2	-5.3	-2.2	-0.4	4.6	3.7	-0.1
1988	4.9	3.5	4.6	2.1	-2.1	-7.1	-6.8	-5.2	-0.9	-0.4	1.7	2.8	-0.2
1989	3.0	2.2	2.5	0.6	-2.6	-4.9	-5.1	-4.6	-2.7	-2.3	-1.8	1.4	-1.2
1990	1.9	-0.2	-1.6	-2.2	-5.0	-5.3	-10.8	-6.6	-5.8	1.2	2.3	2.1	-2.5
1991	1.8	2.3	2.7	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****
1992	****	****	****	****	****	****	****	****	-3.8	-4.2	0.3	3.0	****
1993	3.8	2.3	3.0	1.3	-4.0	-8.1	-7.9	-4.7	-0.4	2.2	3.0	4.5	-0.4
1994	****	4.0	2.4	2.0	-4.2	-7.8	-7.2	-6.5	-1.9	0.1	3.0	3.7	****
1995	4.3	3.4	3.4	-0.5	-4.8	-8.1	-7.1	-4.9	-0.4	-1.3	1.6	2.8	-1.0
1996	4.1	4.2	2.2	1.7	-2.8	-7.4	-7.4	-4.1	-3.1	0.2	2.8	3.9	-0.5
1997	4.7	4.4	3.4	-1.3	-4.6	-9.0	-7.3	-2.6	-0.7	-1.4	0.0	3.9	-0.9
1998	5.2	5.2	4.1	1.3	-6.4	-5.2	-6.4	-5.1	-2.6	1.5	2.5	3.0	-0.2
1999	3.5	4.4	4.4	1.6	-3.5	-8.1	-6.4	-5.5	-3.9	1.4	0.2	2.8	-0.8
2000	4.0	3.5	3.1	-0.9	-3.5	-7.0	-8.5	-3.7	-4.5	-0.5	-0.6	2.6	-1.3
2001	4.3	4.0	4.0	0.8	-3.6	-4.2	-6.4	-3.5	0.1	0.9	2.6	2.6	0.1
2002	2.1	4.1	3.8	1.5	-1.7	-4.2	-3.5	-3.6	-0.3	2.3	1.6	3.6	0.5
2003	4.9	4.3	3.9	-0.1	-2.9	-7.8	-6.4	-5.2	-1.6	0.0	1.1	4.0	-0.5
2004	5.1	4.7	3.2	1.2	-8.2	-7.0	-4.7	-2.6	-0.5	0.1	2.2	3.3	-0.3
2005	4.6	4.5	3.1	0.0	-5.7	-8.8	-6.9	-7.0	-2.6	2.1	2.4	3.5	-0.9
2006	4.0	3.4	3.6	1.1	-6.1	-6.5	-8.6	-4.3	-2.5	1.4	3.6	4.2	-0.6
2007	3.9	3.9	3.8	1.8	-3.5	-6.0	-5.6	-4.2	1.1	0.4	1.0	3.1	0.0
2008	4.9	3.7	2.2	-1.6	-7.3	-7.3	-8.3	-6.7	-3.6	0.6	2.9	4.3	-1.4
2009	4.0	3.7	2.8	-0.1	-4.5	-10.2	-6.2	-7.5	-1.6	3.3	4.0	4.7	-0.6
2010	5.1	5.2	2.6	-0.2	-3.6	-4.8	-6.7	-6.1	-2.7	0.9	0.7	4.0	-0.5
2011	4.0	4.7	3.5	-0.1	-4.0	-5.6	-5.4	-4.1	-1.1	0.1	2.3	4.0	-0.1
2012	4.3	3.9	2.8	1.5	-4.4	-7.0	-6.7	-6.0	-1.9	0.8	2.9	4.4	-0.4
2013	3.8	3.8	2.8	-2.7	-2.4	-4.8	-4.0	-4.6	-3.3	0.6	2.2	4.3	-0.4
2014	4.5	3.8	2.2	0.4	-3.5	-6.1	-6.4	-3.6	1.6	1.1	1.4	3.7	-0.1
2015	4.0	3.6	3.3	2.3	-3.8	-5.9	-7.0	-4.3	-1.3	-0.2	2.0	2.9	-0.4
2016	4.5	5.3	1.6	0.5	-5.6	-7.8	-6.0	-5.3	-3.2	3.6	0.0	3.7	-0.7

Fuente: SENAMHI

TABLA 29. TEMPERATURA MEDIA (°C)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1974	8.9	8.8	8.9	7.8	4.5	3.1	4.5	3.6	6.9	8.5	9.6	9.5	7.0
1975	8.5	9.4	9.2	8.1	6.1	4.7	2.8	4.8	7.5	7.9	9.3	9.2	7.3
1976	8.6	9.7	9.2	7.1	4.7	3.7	4.3	5.0	7.0	7.7	8.9	10.3	7.2
1977	10.6	9.8	9.5	7.8	5.1	2.5	4.6	5.0	8.2	9.3	10.5	10.9	7.8
1978	10.3	10.6	10.3	9.2	6.1	4.3	3.4	5.8	6.4	8.8	10.0	10.4	8.0
1979	9.8	9.9	9.7	8.2	5.5	5.6	4.4	4.8	7.2	9.4	10.6	10.5	8.0
1980	10.7	10.5	10.0	7.5	5.9	4.5	6.0	6.3	6.8	9.4	10.9	10.3	8.2
1981	11.0	10.3	9.9	7.6	5.9	3.3	4.3	6.7	5.6	8.9	10.7	11.0	7.9
1982	10.3	10.0	9.5	9.0	5.3	2.8	2.0	2.5	4.3	****	****	****	****
1983	7.8	11.2	11.1	11.2	6.1	5.1	3.0	2.4	8.7	7.9	8.5	10.7	7.8
1984	10.5	11.2	****	****	6.7	5.0	3.9	5.1	6.9	10.3	10.1	9.7	****
1985	9.8	9.6	9.8	9.0	7.4	4.9	3.4	6.1	8.2	9.8	9.3	10.0	8.1
1986	10.2	9.7	9.6	8.8	4.8	4.2	3.0	4.9	7.6	8.0	10.3	10.3	7.6
1987	10.2	9.9	9.6	8.7	6.7	4.4	4.6	5.9	7.9	8.7	11.6	11.2	8.3
1988	10.8	10.3	10.1	8.8	6.4	3.6	4.1	6.2	8.3	9.0	10.3	9.9	8.2
1989	9.4	8.8	9.0	7.9	6.6	5.0	4.5	5.4	7.2	7.9	8.1	9.9	7.5
1990	8.7	8.0	8.0	7.5	5.6	3.8	1.5	4.5	5.9	9.6	10.1	9.5	6.9
1991	9.4	9.7	9.6	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****
1992	0.0	****	****	****	****	****	****	****	5.8	4.4	8.4	10.0	****
1993	9.3	8.9	8.9	8.7	5.8	3.4	3.2	4.6	7.6	9.3	10.2	10.5	7.5
1994	0.0	9.7	8.9	8.8	5.6	3.5	3.8	4.8	7.5	8.8	10.1	10.2	****
1995	10.1	10.3	9.6	8.2	6.0	3.5	4.2	6.5	8.3	8.9	10.1	9.9	8.0
1996	10.0	9.9	9.5	9.1	6.5	3.5	3.4	5.9	6.6	9.2	9.7	10.0	7.8
1997	10.3	10.0	9.5	7.1	5.2	2.9	4.2	5.6	8.1	8.3	9.3	11.8	7.7
1998	11.6	11.5	11.1	9.4	5.2	5.4	4.6	5.9	7.4	9.7	10.1	10.8	8.6
1999	9.9	9.6	9.6	8.6	6.0	3.2	4.0	5.2	6.1	8.9	9.1	10.8	7.6
2000	10.3	9.5	9.4	8.2	6.6	3.6	2.6	5.9	6.6	8.0	9.7	10.2	7.6
2001	9.6	9.8	9.9	8.8	6.1	5.4	4.0	6.1	8.3	9.3	11.2	10.4	8.2
2002	10.1	10.2	10.1	8.9	7.2	5.7	4.6	6.0	8.5	9.9	10.0	10.8	8.5
2003	11.0	10.4	10.0	8.6	6.7	4.0	4.5	5.4	7.3	9.1	10.0	11.2	8.2
2004	10.1	10.0	10.5	9.3	3.7	3.8	4.4	6.2	8.1	9.2	10.7	10.8	8.1
2005	10.7	10.0	10.5	9.1	5.6	3.4	4.4	4.8	6.9	9.3	9.8	10.6	7.9
2006	9.9	10.0	10.2	8.8	4.8	4.2	3.3	5.8	7.2	9.8	10.5	10.8	7.9
2007	10.5	10.5	10.2	9.5	6.3	5.2	4.4	6.1	8.4	9.3	9.4	10.2	8.3
2008	9.9	9.9	9.3	7.8	4.2	4.1	3.6	4.8	7.0	9.2	11.3	10.5	7.6
2009	10.2	10.1	9.6	8.5	6.0	2.7	4.2	4.4	8.3	11.6	11.2	11.1	8.2
2010	11.0	11.1	10.3	9.3	6.6	5.8	4.6	5.7	7.7	9.4	10.0	10.9	8.5
2011	10.7	9.9	9.4	8.6	6.4	5.1	4.6	6.3	7.9	8.9	10.6	10.2	8.2
2012	9.8	9.3	9.1	8.5	5.6	3.9	4.1	5.2	8.0	9.6	10.7	10.0	7.8
2013	9.7	9.8	10.0	7.6	7.0	4.6	5.5	5.6	7.0	9.0	10.6	10.2	8.0
2014	9.9	9.9	9.6	8.7	6.2	4.9	4.2	6.0	8.7	9.0	10.1	10.9	8.2
2015	9.4	9.8	9.6	8.9	5.7	5.3	4.2	5.8	7.8	8.7	10.3	10.7	8.0
2016	11.2	10.9	10.5	8.7	5.5	3.8	5.0	5.7	7.4	11.5	9.8	11.4	8.4

Fuente: SENAMHI

ANEXO B

Procedimiento de cálculo de la Evapotranspiración mediante el Método de Penman-Monteith



ANEXO B: PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN MEDIANTE EL MÉTODO DE PENMAN-MONTEITH

Cálculo de la Temperatura Media (°C)

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

Estimaciones Empíricas de Datos de la Velocidad del Viento Mensual.

En regiones en las cuales no se cuentan con datos de velocidad del viento disponibles, se recomienda usar como una estimación temporal un valor de 2 m/s. Este valor es el promedio de más de 2000 estaciones climáticas alrededor del mundo.

Cálculo de los Parámetros

3.1 Cálculo de la Presión Atmosférica

$$P = 101.3 \left(\frac{293 - 0.0065z}{293} \right)^{5.26}$$

Donde:

P= Presión atmosférica (kPa)

z = Altura sobre el nivel del mar a la que se encuentra la estación (m)

TABLA 30. PRESIÓN ATMOSFÉRICA (P) PARA DIFERENTES ALTITUDES (Z)

z (m)	P (kPa)	z (m)	P (kPa)	z (m)	P (kPa)	z (m)	P (kPa)	z (m)	P (kPa)	z (m)	P (kPa)	z (m)	P (kPa)	z (m)	P (kPa)
0	101	550	95	1100	89	1650	83	2150	78	2700	73	3200	69	3750	64
50	101	600	94	1150	88	1700	83	2200	78	2750	73	3250	68	3800	64
100	100	650	94	1200	88	1750	82	2250	77	2800	72	3300	68	3850	63
150	100	700	93	1250	87	1800	82	2300	77	2850	72	3350	68	3900	63
200	99	750	93	1300	87	1850	81	2350	76	2900	71	3400	67	3950	63
250	98	800	92	1350	86	1900	81	2400	76	2950	71	3450	67	4000	62
300	98	850	92	1400	86	1950	80	2450	76	3000	71	3500	66		
350	97	900	91	1450	85.3	2000	80	2500	75	3000	71	3550	66		
400	97	950	91	1500	85	2000	80	2550	75	3050	70	3600	65		
450	96	1000	90	1550	84	2050	79	2600	74	3100	70	3650	65		
500	96	1050	90	1600	84	2100	79	2650	74	3150	69	3700	65		

Fuente: Texto Alumno de Hidrología, Agustín & Weimar

3.2 Cálculo de la constante psicrométrica (γ)

$$\gamma = \frac{C_p P}{\epsilon \lambda}$$

Donde

- C_p = Calor específico a presión constante ($1,013 \times 10^{-3} \text{ MJ kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$).
- λ = Calor latente de evaporación (2.45 MJ kg^{-1})
- ε = Relación entre el peso molecular del aire húmedo y el aire seco. Su valor es 0,622.
- P = Presión atmosférica (kPa).

TABLA 31. CONSTANTE PSICROMÉTRICA (γ) PARA DIFERENTES ALTITUDES (z)

z (m)	$\gamma \text{ kPa/}^\circ\text{C}$	z (m)	$\gamma \text{ kPa/}^\circ\text{C}$	z (m)	$\gamma \text{ kPa/}^\circ\text{C}$	z (m)	$\gamma \text{ kPa/}^\circ\text{C}$	z (m)	$\gamma \text{ kPa/}^\circ\text{C}$
0	0.067	800	0.061	1600	0.056	2400	0.051	3200	0.046
100	0.067	900	0.061	1700	0.055	2500	0.05	3300	0.045
200	0.066	1000	0.06	1800	0.054	2600	0.049	3400	0.045
300	0.065	1100	0.059	1900	0.054	2700	0.049	3500	0.044
400	0.064	1200	0.058	2000	0.053	2800	0.048	3600	0.043
500	0.064	1300	0.058	2100	0.052	2900	0.047	3700	0.043
600	0.063	1400	0.057	2200	0.052	3000	0.047	3800	0.042
700	0.062	1500	0.056	2300	0.051	3100	0.046	3900	0.042

Fuente: Texto Alumno de Hidrología, Agustín & Weimar

Valores calculados con $\lambda = 2.45 \text{ MJ kg}^{-1}$, constante estimada a una temperatura de 20°C .

3.3 Cálculo de la pendiente de la curva de presión de vapor (Δ)

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

Donde:

T = Es la temperatura media ($^\circ\text{C}$)

$\exp$ = Representa el logaritmo de base natural que equivale a 2.7183

TABLA 32. PENDIENTE DE LA PRESIÓN DE VAPOR (Δ) PARA DIFERENTES TEMPERATURAS

T °C	Δ kPa/°C	T °C	Δ kPa/°C	T °C	Δ kPa/°C	T °C	Δ kPa/°C	T °C	Δ kPa/°C	T °C	Δ kPa/°C	T °C	Δ kPa/°C
1	0.047	7.5	0.071	14.5	0.107	21	0.153	28	0.22	34.5	0.303	41.5	0.421
1.5	0.049	8	0.073	15	0.11	21.5	0.157	28.5	0.226	35	0.311	42	0.431
2	0.05	8.5	0.075	15.5	0.113	22	0.161	29	0.231	35.5	0.318	42.5	0.441
2.5	0.052	9	0.078	16	0.116	22.5	0.165	29.5	0.237	36	0.326	43	0.451
3	0.054	9.5	0.08	16.5	0.119	23	0.17	30	0.243	37	0.342	43.5	0.461
3.5	0.055	10	0.082	17	0.123	23.5	0.174	30.5	0.249	37.5	0.35	44	0.471
4	0.057	10.5	0.085	17.5	0.126	24	0.179	31	0.256	38	0.358	44.5	0.482
4.5	0.059	11	0.087	18	0.13	25	0.189	31.5	0.262	38.5	0.367	45	0.493
5	0.061	11.5	0.09	18.5	0.133	25.5	0.194	32	0.269	39	0.375	45.5	0.504
5.5	0.063	12	0.092	19	0.137	26	0.199	32.5	0.275	39.5	0.384	46	0.515
6	0.065	13	0.098	19.5	0.141	26.5	0.204	33	0.282	40	0.393	46.5	0.526
6.5	0.067	13.5	0.101	20	0.145	27	0.209	33.5	0.289	40.5	0.402	47	0.538
7	0.069	14	0.104	20.5	0.149	27.5	0.215	34	0.296	41	0.412	47.5	0.55
												48	0.562

Fuente: Texto Alumno de Hidrología, Agustín & Weimar

Cálculo del Déficit de Presión de Vapor

Cálculo de la Presión de saturación de vapor a la temperatura del aire

$$e^0(T) = 0.6108 \exp \left[\frac{17.27T}{T + 237.3} \right]$$

Donde:

$e^0(T)$ = Presión de saturación del vapor a la temperatura del aire (°C).

T (°C) = Temperatura del aire (máxima o mínima)

exp= Se refiere al logaritmo de base natural que tiene un valor de 2.

TABLA 33. PRESIÓN DE SATURACIÓN DE VAPOR (e⁰(T)) PARA DIFERENTES TEMPERATURAS (T)

T °C	e ⁰ (T) kPa	T °C	e ⁰ (T) kPa	T °C	e ⁰ (T) kPa	T °C	e ⁰ (T) kPa	T °C	e ⁰ (T) kPa	T °C	e ⁰ (T) kPa
1	0.657	9	1.148	17	1.938	25	3.168	33	5.03	41	7.778
1.5	0.681	9.5	1.187	17.5	2	25.5	3.263	33.5	5.173	41.5	7.986
2	0.706	10	1.228	18	2.064	26	3.361	34	5.319	42	8.199
2.5	0.731	10.5	1.27	18.5	2.13	26.5	3.462	34.5	5.469	42.5	8.417
3	0.758	11	1.313	19	2.197	27	3.565	35	5.623	43	8.64
3.5	0.785	11.5	1.357	19.5	2.267	27.5	3.671	35.5	5.78	43.5	8.867
4	0.813	12	1.403	20	2.338	28	3.78	36	5.941	44	9.101
4.5	0.842	12.5	1.449	20.5	2.412	28.5	3.891	36.5	6.106	44.5	9.339
5	0.872	13	1.498	21	2.487	29	4.006	37	6.275	45	9.582
5.5	0.903	13.5	1.547	21.5	2.564	29.5	4.123	37.5	6.448	45.5	9.832
6	0.935	14	1.599	22	2.644	30	4.243	38	6.625	46	10.086
6.5	0.968	14.5	1.651	22.5	2.726	30.5	4.366	38.5	6.806	46.5	10.347
7	1.002	15	1.705	23	2.809	31	4.493	39	6.991	47	10.613
7.5	1.037	15.5	1.761	23.5	2.896	31.5	4.622	39.5	7.181	47.5	10.885
8	1.073	16	1.818	24	2.984	32	4.755	40	7.376	48	11.163
8.5	1.11	16.5	1.877	24.5	3.075	32.5	4.891	40.5	7.574	48.5	11.447

Fuente: Texto Alumno de Hidrología, Agustín & Weimar

Este componente será utilizado para calcular el déficit de presión de vapor(e_s-e_a) y será medido en kPa.

$$e_s = \frac{e^0(T_{max}) + e^0(T_{min})}{2}$$

Cuando no se cuentan con datos confiables de humedad relativa, la presión real de vapor puede ser estimada asumiendo que el punto de rocío es aproximadamente igual a la temperatura mínima diaria (T_{min}), pues en ese momento el aire se encuentra cerca de saturación y la humedad relativa es cercana al 100%. Esta aseveración fue verificada y respaldada en un estudio realizado para el altiplano boliviano, respecto a metodologías empleadas en la determinación de la ETo y Kc (PRONAR, UMSA, 2002).

Por lo tanto, la presión de vapor actual (e_a) será igual:

$$e_a = e^0(T_{min}) = 0.6108 \exp \left[\frac{17.27 * T_{min}}{T_{min} + 237.3} \right]$$

$$e_s - e_a$$

Cálculo de la Radiación

Cálculo de ϕ para convertir la Latitud de grados sexagesimales a radianes

$$\varphi = \text{Latitud} \frac{\pi}{180}$$

Cálculo de la declinación solar δ (rad)

$$\delta = 0.409 \sin\left(\frac{2\pi}{365}J - 1.39\right)$$

J= DÍA juliano, cuyo valor se refiere al número de días que existen en el año.
Por ejemplo: 1 se refiere al 1ro de Enero y 365 al 31 de diciembre, pudiendo variar esta numeración durante los años bisiestos

TABLA 34. NUMERO DEL DIA EN EL AÑO (J)

Día	Ene	Feb	mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	1	32	60	91	121	152	182	213	244	274	305	335
2	2	33	61	92	122	153	183	214	245	275	306	336
3	3	34	62	93	123	154	184	215	246	276	307	337
4	4	35	63	94	124	155	185	216	247	277	308	338
5	5	36	64	95	125	156	186	217	248	278	309	339
6	6	37	65	96	126	157	187	218	249	279	310	340
7	7	38	66	97	127	158	188	219	250	280	311	341
8	8	39	67	98	128	159	189	220	251	281	312	342
9	9	40	68	99	129	160	190	221	252	282	313	343
10	10	41	69	100	130	161	191	222	253	283	314	344
11	11	42	70	101	131	162	192	223	254	284	315	345
12	12	43	71	102	132	163	193	224	255	285	316	346
13	13	44	72	103	133	164	194	225	256	286	317	347
14	14	45	73	104	134	165	195	226	257	287	318	348
15	15	46	74	105	135	166	196	227	258	288	319	349
16	16	47	75	106	136	167	197	228	259	289	320	350
17	17	48	76	107	137	168	198	229	260	290	321	351
18	18	49	77	108	138	169	199	230	261	291	322	352
19	19	50	78	109	139	170	200	231	262	292	323	353
20	20	51	79	110	140	171	201	232	263	293	324	354
21	21	52	80	111	141	172	202	233	264	294	325	355
22	22	53	81	112	142	173	203	234	265	295	326	356
23	23	54	82	113	143	174	204	235	266	296	327	357
24	24	55	83	114	144	175	205	236	267	297	328	358
25	25	56	84	115	145	176	206	237	268	298	329	359
26	26	57	85	116	146	177	207	238	269	299	330	360
27	27	58	86	117	147	178	208	239	270	300	331	361
28	28	59	87	118	148	179	209	240	271	301	332	362
29	29	-60	88	119	149	180	210	241	272	302	333	363
30	30	-	89	120	150	181	211	242	273	303	334	364
31	31	-	90	-	151	-	212	243	-	304	-	365

Fuente: Texto Alumno de Hidrología, Agustín & Weimar

Cálculo de ω_s (ángulo a la hora de la puesta de sol) en rad

$$\omega_s = \arccos[-\tan(\varphi)\tan(\delta)]$$

Donde:

ϕ = Latitud en la que se encuentra la estación agroclimática (rad).

δ = Declinación solar (rad)

Como la función arccos no se encuentra disponible en el lenguaje de la computadora, el ángulo a la hora de la puesta de sol (ω_s), también puede ser calculado usando la función arctan.

$$\omega_s = \frac{\pi}{2} - \arctan \left[\frac{-\tan(\phi) \tan(\delta)}{x^{0.5}} \right]$$

Donde:

$$x = 1 - [\tan(\phi)]^2 [\tan(\delta)]^2 \quad y \quad x = 0.00001 \text{ si } x \leq 0$$

5.2 Inversa de la distancia relativa entre la tierra y el sol (d_r)

$$d_r = 1 + 0.033 \cos \left(\frac{2\pi}{265} J \right)$$

Donde:

J= Día juliano

5.3 Cálculo de la radiación extraterrestre (R_a) en $\text{MJm}^{-2} \text{dia}^{-1}$

$$R_a = \frac{24(60)}{\pi} G_{sc} d_r [\omega_s \sin(\phi) \sin(\delta) + \cos(\phi) \cos(\delta) \sin(\omega_s)]$$

Donde:

d_r = Inversa de la distancia relativa entre la tierra y el sol

ω_s = Angulo a la hora de la puesta del sol (rad)

ϕ = Latitud de la estación en rad

δ = Declinación solar en rad

G_{sc} = Constante solar ($0,0820 \text{ MJ m}^{-2} \text{ min}^{-1}$)

5.4 Radiación solar global diaria (R_s) en $\text{MJm}^{-2} \text{dia}^{-1}$

En situaciones en las cuales no se cuentan con datos de n y N , R_s puede ser calculado siguiendo el siguiente procedimiento:

$$R_s = k_{Rs} \sqrt{(T_{max} - T_{min})} Ra$$

Donde:

T max = Temperatura máxima (°C)

Tmin = Temperatura mínima (°C)

kRs = Coeficiente de ajuste que varía de (0.16... 0.19)

La raíz cuadrada de la diferencia de temperatura se relaciona estrechamente a la radiación solar diaria para una situación dada. El coeficiente de ajuste kRs de carácter empírico, difiere de acuerdo a la situación y región específicas. En situaciones en los que la masa de tierra es dominante y las masas de aire no son influenciadas fuertemente por un cuerpo de agua grande, kRs = 0.16 (mediterráneo). En situaciones en los que la masa de tierra se encuentra adyacente a la costa y donde las masas de aire son influenciados por un cuerpo de agua cercano (mar), el kRs = 0.19.

Cálculo de la Radiación Neta (Rn)

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

Donde:

Rns = Radiación neta de onda corta (MJ m⁻² día⁻¹)

Rnl = Radiación neta de onda larga (MJ m⁻² día⁻¹)

$$R_{ns} = (1 - \alpha) R_s$$

Donde:

α = Albedo, cuyo valor se aproxima a 0,23

Rs = Radiación solar global diaria (MJ m⁻² día⁻¹)

Radiación solar para un día sin nubes (Rso) en MJm⁻² día⁻¹

$$R_{so} = (0.75 + 2 * 10^{-5} z) Ra$$

Donde:

z = Altura sobre el nivel del mar en que se encuentra la estación (m)

Ra = Radiación extraterrestre para periodos diarios (MJ m⁻² día⁻¹)

5.4.1 Cálculo de la Radiación neta de onda larga (Rnl) en MJ m⁻² día⁻¹

$$Rnl = \sigma \left[\frac{(T_{max}K)^4 + (T_{min}K)^4}{2} \right] (0.34 - 0.14\sqrt{e_a}) \left(1.35 \frac{R_s}{R_{so}} - 0.35 \right)$$

Donde:

σ = Constante de Stefan-Boltzmann (4.903 10⁻⁹ MJ K⁻⁴ m⁻² día⁻¹).

T_{máx.}, K = Temperatura máxima absoluta del día (T_{max} °C + 273,16).

T_{mín.}, K = Temperatura mínima absoluta del día (T_{min} °C + 273,16).

e_a = Presión de vapor actual (kPa).

R_s = Radiación solar diaria (MJ m⁻² día⁻¹).

R_{so} = Radiación solar para un día sin nubes (MJ m⁻² día⁻¹).

Un promedio de la temperatura máxima y la temperatura mínima elevados a potencia cuarta, normalmente es usada en la ecuación de Stefan-Boltzmann para un periodo de 24-horas. El término (0.34-0.14√e_a) expresa la corrección para la humedad del aire, y será más pequeño si la humedad va en aumento. El efecto de la nubosidad se expresa mediante el termino (1.35 R_s/R_{so} - 0.35). La tabla siguiente muestra valores de σ(TK)⁴ para diferentes temperaturas con los cuales Ud puede verificar sus resultados.

TABLA 35. LEY DE STEFAN-BOLTZMANN A DIFERENTES TEMPERATURAS (T)

T (°C)	σ(TK) ⁴ (MJ m ⁻² d ⁻¹)	T (°C)	σ(TK) ⁴ (MJ m ⁻² d ⁻¹)	T (°C)	σ(TK) ⁴ (MJ m ⁻² d ⁻¹)	T (°C)	σ(TK) ⁴ (MJ m ⁻² d ⁻¹)	T (°C)	σ(TK) ⁴ (MJ m ⁻² d ⁻¹)	T (°C)	σ(TK) ⁴ (MJ m ⁻² d ⁻¹)	T (°C)	σ(TK) ⁴ (MJ m ⁻² d ⁻¹)	T (°C)	σ(TK) ⁴ (MJ m ⁻² d ⁻¹)
1	27.7	7	30.21	13	32.88	19	35.72	25	38.75	31	41.96	37	45.37	43	48.99
1.5	27.9	7.5	30.42	13.5	33.11	19.5	35.97	25.5	39.01	31.5	42.24	37.5	45.67	43.5	49.3
2	28.11	8	30.64	14	33.34	20	36.21	26	39.27	32	42.52	38	45.96	44	49.61
2.5	28.31	8.5	30.86	14.5	33.57	20.5	36.46	26.5	39.53	32.5	42.8	38.5	46.26	44.5	49.92
3	28.52	9	31.08	15	33.81	21	36.71	27	39.8	33	43.08	39	46.56	45	50.24
3.5	28.72	9.5	31.3	15.5	34.04	21.5	36.96	27.5	40.06	33.5	43.36	39.5	46.85	45.5	50.56
4	28.93	10	31.52	16	34.28	22	37.21	28	40.33	34	43.64	40	47.15	46	50.87
4.5	29.14	10.5	31.74	16.5	34.52	22.5	37.47	28.5	40.6	34.5	43.93	40.5	47.46	46.5	51.19
5	29.35	11	31.97	17	34.75	23	37.72	29	40.87	35	44.21	41	47.76	47	51.51
5.5	29.56	11.5	32.19	17.5	34.99	23.5	37.98	29.5	41.14	35.5	44.5	41.5	48.06	47.5	51.84
6	29.78	12	32.42	18	35.24	24	38.23	30	41.41	36	44.79	42	48.37	48	52.16
6.5	29.99	12.5	32.65	18.5	35.48	24.5	38.49	30.5	41.69	36.5	45.08	42.5	48.68	48.5	52.49

Fuente: Texto Alumno de Hidrología, Agustín & Weimar

5.5 Cálculo del flujo de calor del suelo (G)

Para cálculos diarios o decadales de ETo el valor de $G \approx 0$. En cambio cuando los datos de ETo necesitan ser calculados mensualmente G tendrá las siguientes ecuaciones:

El cálculo de este factor se resume de la siguiente manera:

$$G = 0.07(T_{i+1} - T_{i-1})$$

Donde:

T_{i+1} = Temperatura media del aire del mes posterior (°C)

T_{i-1} = Temperatura media del aire del mes anterior (°C)

$$G = 0.14(T_i - T_{i-1})$$

Donde:

T_i = Temperatura media del aire del mes actual (°C)

T_{i-1} = Temperatura media del aire del mes anterior (°C)

0,14 = Factor de conversión empírico (para transformar a $\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$, que son las unidades en las que se debe expresar este término, en este caso, y según los criterios con los que se viene trabajando).

ANEXO C

**Cálculo de la Evapotranspiración y
Balance Hidrico mediante el
método de Thornthwaite**



ANEXO C: CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN Y BALANCE HIDRICO MEDIANTE EL MÉTODO DE THORNTHWAITE

Cálculo de la Evapotranspiración para años húmedos

AÑO HÚMEDO 1975														
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	a	0.9
T media (°C)	8.5	9.4	9.2	8.1	6.1	4.7	2.8	4.8	7.5	7.9	9.3	9.2	× Tmedia	7.3
i	2.23	2.60	2.52	2.08	1.35	0.91	0.42	0.94	1.85	2.00	2.56	2.52	Σ I	22.0
ETO s/c (mm/mes)	50.95	55.53	54.52	48.89	38.35	30.68	19.69	31.24	45.77	47.86	55.03	54.52		
Factor "e"	1.13	0.99	1.05	0.98	0.97	0.93	0.96	1.00	1.00	1.07	1.08	1.13		
ETO (mm/mes)	57.4	54.8	57.2	47.7	37.3	28.5	19.0	31.1	45.8	51.4	59.3	61.7	× ETO med	45.9

AÑO HÚMEDO 1978														
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	a	0.9
T media (°C)	10.3	10.6	10.3	9.2	6.1	4.3	3.4	5.8	6.4	8.8	10	10.4	× Tmedia	95.6
i	2.99	3.12	2.99	2.52	1.35	0.80	0.56	1.25	1.45	2.35	2.86	3.03	Σ I	25.3
ETO s/c (mm/mes)	57.23	58.74	57.23	51.66	35.59	25.92	20.95	34.00	37.17	49.62	55.71	57.73		
Factor "e"	1.13	0.99	1.05	0.98	0.97	0.93	0.96	1.00	1.00	1.07	1.08	1.13		
ETO (mm/mes)	64.5	58.0	60.1	50.4	34.6	24.1	20.2	33.9	37.2	53.3	60.0	65.3	× ETO med	46.8

AÑO HÚMEDO 1979														
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	a	0.9
T media (°C)	9.80	9.90	9.70	8.20	5.50	5.60	4.40	4.80	7.20	9.40	10.60	10.50	× Tmedia	8.0
i	2.77	2.81	2.73	2.11	1.16	1.19	0.82	0.94	1.74	2.60	3.12	3.07	Σ I	25.1
ETO s/c (mm/mes)	54.87	55.37	54.36	46.70	32.55	33.09	26.61	28.78	41.52	52.84	58.90	58.40		
Factor "e"	1.13	0.99	1.05	0.98	0.97	0.93	0.96	1.00	1.00	1.07	1.08	1.13		
ETO (mm/mes)	61.8	54.7	57.1	45.6	31.7	30.7	25.6	28.7	41.5	56.7	63.4	66.0	× ETO med	47.0

AÑO HÚMEDO 1981														
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	a	0.9
T media (°C)	11.0	10.3	9.9	7.6	5.9	3.3	4.3	6.7	5.6	8.9	10.7	11.0	× Tmedia	7.9
i	3.30	2.99	2.81	1.88	1.28	0.53	0.80	1.56	1.19	2.39	3.16	3.30	Σ I	25.2
ETO s/c (mm/mes)	60.79	57.28	55.26	43.49	34.58	20.43	25.96	38.80	32.98	50.18	59.29	60.79		
Factor "e"	1.13	0.99	1.05	0.98	0.97	0.93	0.96	1.00	1.00	1.07	1.08	1.13		
ETO (mm/mes)	68.5	56.5	58.0	42.5	33.6	19.0	25.0	38.7	33.0	53.9	63.9	68.7	× ETO med	46.8

AÑO HÚMEDO 1985														
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	a	0.9
T media (°C)	9.8	9.6	9.8	9.0	7.4	4.9	3.4	6.1	8.2	9.8	9.3	10.0	× Tmedia	8.1
i	2.77	2.68	2.77	2.43	1.81	0.97	0.56	1.35	2.11	2.77	2.56	2.86	Σ I	25.6
ETO s/c (mm/mes)	53.88	52.89	53.88	49.88	41.78	28.76	20.65	35.07	45.85	53.88	51.39	54.88		
Factor "e"	1.13	0.99	1.05	0.98	0.97	0.93	0.96	1.00	1.00	1.07	1.08	1.13		
ETO (mm/mes)	60.7	52.2	56.6	48.7	40.6	26.7	19.9	34.9	45.8	57.8	55.4	62.1	× ETO med	46.8

Cálculo de la Evapotranspiración para años secos

AÑO SECO 1999														
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	a	0.9
T media (°C)	9.9	9.6	9.6	8.6	6	3.2	4	5.2	6.1	8.9	9.1	10.8	× Tmedia	7.6
i	2.81	2.68	2.68	2.27	1.32	0.51	0.71	1.06	1.35	2.39	2.48	3.21	Σ I	23.5
ETO s/c (mm/mes)	56.71	55.19	55.19	50.10	36.51	21.00	25.56	32.19	37.04	51.64	52.66	61.22		
Factor "e"	1.13	0.99	1.05	0.98	0.97	0.93	0.96	1.00	1.00	1.07	1.08	1.13		
ETO (mm/mes)	63.9	54.5	58.0	48.9	35.5	19.5	24.6	32.1	37.0	55.4	56.7	69.2	× ETO med	46.3

AÑO SECO 2000														
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	a	0.9
T media (°C)	10.30	9.50	9.40	8.20	6.60	3.60	2.60	5.90	6.60	8.00	9.70	10.20	× Tmedia	7.6
i	2.99	2.64	2.60	2.11	1.52	0.61	0.37	1.28	1.52	2.04	2.73	2.94	Σ I	23.4
ETO s/c (mm/mes)	58.83	54.80	54.29	48.16	39.81	23.38	17.58	36.08	39.81	47.13	55.81	58.32		
Factor "e"	1.13	0.99	1.05	0.98	0.97	0.93	0.96	1.00	1.00	1.07	1.08	1.13		
ETO (mm/mes)	66.3	54.1	57.0	47.0	38.7	21.7	16.9	35.9	39.8	50.6	60.1	66.0	× ETO med	46.2

AÑO SECO 2007														
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	a	0.9
T media (°C)	10.5	10.5	10.2	9.5	6.3	5.2	4.4	6.1	8.4	9.3	9.4	10.2	× Tmedia	8.3
i	3.07	3.07	2.94	2.64	1.42	1.06	0.82	1.35	2.19	2.56	2.60	2.94	Σ I	26.7
ETO s/c (mm/mes)	57.08	57.08	55.57	52.02	35.52	29.73	25.45	34.47	46.40	51.00	51.51	55.57		
Factor "e"	1.13	0.99	1.05	0.98	0.97	0.93	0.96	1.00	1.00	1.07	1.08	1.13		
ETO (mm/mes)	64.3	56.4	58.3	50.8	34.6	27.6	24.5	34.4	46.4	54.8	55.5	62.8	× ETO med	47.5
AÑO SECO 2008														
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	a	0.9
T media (°C)	9.90	9.90	9.30	7.80	4.20	4.10	3.60	4.80	7.00	9.20	11.30	10.50	× Tmedia	7.6
i	2.81	2.81	2.56	1.96	0.77	0.74	0.61	0.94	1.66	2.52	3.44	3.07	Σ I	23.9
ETO s/c (mm/mes)	56.36	56.36	53.32	45.63	26.37	25.81	23.00	29.68	41.46	52.81	63.36	59.37		
Factor "e"	1.13	0.99	1.05	0.98	0.97	0.93	0.96	1.00	1.00	1.07	1.08	1.13		
ETO (mm/mes)	63.5	55.6	56.0	44.6	25.7	24.0	22.1	29.6	41.5	56.7	68.3	67.1	× ETO med	46.2
AÑO SECO 2009														
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	a	0.9
T media (°C)	10.2	10.1	9.6	8.5	6	2.7	4.2	4.4	8.3	11.6	11.2	11.1	× Tmedia	8.2
i	2.94	2.90	2.68	2.23	1.32	0.39	0.77	0.82	2.15	3.58	3.39	3.34	Σ I	26.5
ETO s/c (mm/mes)	55.69	55.19	52.65	47.04	34.07	16.26	24.49	25.56	46.01	62.74	60.73	60.23		
Factor "e"	1.13	0.99	1.05	0.98	0.97	0.93	0.96	1.00	1.00	1.07	1.08	1.13		
ETO (mm/mes)	62.8	54.5	55.3	45.9	33.1	15.1	23.6	25.5	46.0	67.4	65.4	68.1	× ETO med	46.9
AÑO SECO 2010														
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	a	0.9
T media (°C)	11.00	11.10	10.30	9.30	6.60	5.80	4.60	5.70	7.70	9.40	10.00	10.90	× Tmedia	8.5
i	3.30	3.34	2.99	2.56	1.52	1.25	0.88	1.22	1.92	2.60	2.86	3.25	Σ I	27.7
ETO s/c (mm/mes)	58.81	59.32	55.28	50.20	36.31	32.14	25.83	31.62	42.00	50.70	53.75	58.31		
Factor "e"	1.13	0.99	1.05	0.98	0.97	0.93	0.96	1.00	1.00	1.07	1.08	1.13		
ETO (mm/mes)	66.3	58.6	58.0	49.0	35.3	29.9	24.9	31.5	42.0	54.4	57.9	65.9	× ETO med	47.8

Cálculo de la Evapotranspiración para años normales

AÑO NORMAL 2012														
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	a	0.9
T media (°C)	9.8	9.3	9.1	8.5	5.6	3.9	4.1	5.2	8	9.6	10.7	10	× Tmedia	7.8
i	2.77	2.5588	2.476	2.2331	1.1872	0.6865	0.7405	1.0612	2.0372	2.6848	3.1641	2.856	Σ I	24.5
ETO s/c (mm/mes)	55.37	52.84	51.82	48.76	33.57	24.29	25.40	31.42	46.18	54.36	59.90	56.38		
Factor "e"	1.13	0.99	1.05	0.98	0.97	0.93	0.96	1.00	1.00	1.07	1.08	1.13		
ETO (mm/mes)	62.4	52.2	54.4	47.6	32.7	22.6	24.5	31.3	46.2	58.4	64.5	63.8	× ETO med	46.7
AÑO NORMAL 2013														
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	a	0.91
T media (°C)	9.7	9.8	10.0	7.6	7.0	4.6	5.5	5.6	7.0	9.0	10.6	10.2	× Tmedia	8.05
i	2.73	2.77	2.86	1.88	1.66	0.88	1.16	1.19	1.66	2.43	3.12	2.94	Σ I	25.29
ETO s/c (mm/mes)	54.17	54.68	55.69	43.42	40.30	27.53	32.38	32.91	40.30	50.61	58.71	56.70		
Factor "e"	1.13	0.99	1.05	0.98	0.97	0.93	0.96	1.00	1.00	1.07	1.08	1.13		
ETO (mm/mes)	61.1	54.0	58.5	42.4	39.2	25.6	31.2	32.8	40.3	54.3	63.2	64.1	× ETO med	47.22
AÑO NORMAL 2014														
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	a	0.9
T media (°C)	9.9	9.9	9.6	8.7	6.2	4.9	4.2	6.0	8.7	9.0	10.1	10.9	× Tmedia	8.2
i	2.81	2.81	2.68	2.31	1.38	0.97	0.77	1.32	2.31	2.43	2.90	3.25	Σ I	26.0
ETO s/c (mm/mes)	54.63	54.63	53.11	48.52	35.56	28.65	24.87	34.50	48.52	50.05	55.64	59.67		
Factor "e"	1.13	0.99	1.05	0.98	0.97	0.93	0.96	1.00	1.00	1.07	1.08	1.13		
ETO (mm/mes)	61.6	53.9	55.8	47.4	34.6	26.6	23.9	34.4	48.5	53.7	59.9	67.5	× ETO med	47.3

Método Thornthwaite Datos Mensuales													
AÑO HÚMEDO 1975													

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
P total (mm/mes)	246.3	165.0	44.3	5.3	47.7	13.8	3.0	14.5	54.9	40.9	25.3	134.8	795.80
ETP (mm/mes)	57.4	54.8	57.2	47.7	37.3	28.5	19.0	31.1	45.8	51.4	59.3	61.7	551.23
VRA (mm/mes)	188.9	110.2	-12.9	-42.4	10.4	-14.7	-16.0	-16.6	9.1	-10.5	-34.0	73.1	
R (mm/mes)	100.0	100.0	87.1	44.6	55.0	40.3	24.3	7.7	16.8	6.4	0.0	73.1	
VR (mm/mes)	26.9	0.0	-12.9	-42.4	10.4	-14.7	-16.0	-16.6	9.1	-10.5	-6.4	73.1	
ETR (mm/mes)	57.4	54.8	57.2	47.7	37.3	28.5	19.0	31.1	45.8	51.4	31.7	61.7	
Deficit (mm/mes)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-27.6	0.0	-27.62
Excedencia (mm/mes)	162.0	110.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	272.19
Recarga (mm/mes)	81.0	95.6	47.8	23.9	11.9	6.0	3.0	1.5	0.7	0.4	0.2	0.0	
Verificación											823	823	
Coeficiente de escorrentía											C =	0.34	

Método Thornthwaite Datos Mensuales													
AÑO HÚMEDO 1978													

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
P total (mm/mes)	218.5	115.8	118.6	26.2	0.0	0.0	0.0	7.9	22.0	6.8	140.9	131.1	787.80
ETP (mm/mes)	64.5	58.0	60.1	50.4	34.6	24.1	20.2	33.9	37.2	53.3	60.0	65.3	561.50
VRA (mm/mes)	154.0	57.8	58.5	-24.2	-34.6	-24.1	-20.2	-26.0	-15.2	-46.5	80.9	65.8	
R (mm/mes)	100.0	100.0	100.0	75.8	41.1	17.1	0.0	0.0	0.0	0.0	80.9	100.0	
VR (mm/mes)	0.0	0.0	0.0	-24.2	-34.6	-24.1	-17.1	0.0	0.0	0.0	80.9	19.1	
ETR (mm/mes)	64.5	58.0	60.1	50.4	34.6	24.1	17.1	7.9	22.0	6.8	60.0	65.3	
Deficit (mm/mes)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-3.1	-26.0	-15.2	-46.5	0.0	0.0	-90.72
Excedencia (mm/mes)	154.0	57.8	58.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	46.7	317.03
Recarga (mm/mes)	77.0	67.4	63.0	31.5	15.7	7.9	3.9	2.0	1.0	0.5	0.2	0.0	
Verificación											879	879	
Coeficiente de escorrentía											C =	0.40	

Método Thornthwaite Datos Mensuales													
AÑO HÚMEDO 1979													
MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
P total (mm/mes)	206.4	56.7	170.5	49.9	2.3	0.0	37.8	1.9	14.3	56.2	50.4	205.7	852.10
ETP (mm/mes)	61.8	54.7	57.1	45.6	31.7	30.7	25.6	28.7	41.5	56.7	63.4	66.0	563.62
VRA (mm/mes)	144.6	2.0	113.4	4.3	-29.4	-30.7	12.2	-26.8	-27.2	-0.5	-13.0	139.7	
R (mm/mes)	100.0	100.0	100.0	100.0	70.6	39.9	52.1	25.3	0.0	0.0	0.0	100.0	
VR (mm/mes)	0.0	0.0	0.0	0.0	-29.4	-30.7	12.2	-26.8	-25.3	0.0	0.0	100.0	
ETR (mm/mes)	61.8	54.7	57.1	45.6	31.7	30.7	25.6	28.7	39.6	56.2	50.4	66.0	
Deficit (mm/mes)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-1.9	-0.5	-13.0	0.0	-15.50
Excedencia (mm/mes)	144.6	2.0	113.4	4.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	39.7	303.98
Recarga (mm/mes)	72.3	37.2	75.3	39.8	19.9	9.9	5.0	2.5	1.2	0.6	0.3	0.0	
Verificación											868	868	
Coeficiente de escorrentía											C =	0.36	

Método Thornthwaite Datos Mensuales													
AÑO HÚMEDO 1981													
MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
P total (mm/mes)	130.9	143.9	98.8	95.4	7.8	0.0	0.0	42.2	21.6	84.9	46.2	99.9	771.60
ETP (mm/mes)	68.5	56.5	58.0	42.5	33.6	19.0	25.0	38.7	33.0	53.9	63.9	68.7	561.28
VRA (mm/mes)	62.4	87.4	40.8	52.9	-25.8	-19.0	-25.0	3.5	-11.4	31.0	-17.7	31.2	
R (mm/mes)	100.0	100.0	100.0	100.0	74.2	55.2	30.2	33.7	22.3	53.4	35.7	66.9	
VR (mm/mes)	33.1	0.0	0.0	0.0	-25.8	-19.0	-25.0	3.5	-11.4	31.0	-17.7	31.2	
ETR (mm/mes)	68.5	56.5	58.0	42.5	33.6	19.0	25.0	38.7	33.0	53.9	63.9	68.7	
Deficit (mm/mes)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00
Excedencia (mm/mes)	29.2	87.4	40.8	52.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	210.32
Recarga (mm/mes)	14.6	51.0	45.9	49.4	24.7	12.4	6.2	3.1	1.5	0.8	0.4	0.0	
Verificación											772	772	
Coeficiente de escorrentía											C =	0.27	

Método Thornthwaite Datos Mensuales													
AÑO HÚMEDO 1985													
MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
P total (mm/mes)	170.2	97.0	95.5	51.6	17.8	18.6	0.3	17.2	60.9	17.0	155.5	178.3	879.90
ETP (mm/mes)	60.7	52.2	56.6	48.7	40.6	26.7	19.9	34.9	45.8	57.8	55.4	62.1	561.54
VRA (mm/mes)	109.5	44.8	38.9	2.9	-22.8	-8.1	-19.6	-17.7	15.1	-40.8	100.1	116.2	
R (mm/mes)	100.0	100.0	100.0	100.0	77.2	69.0	49.4	31.7	46.8	5.9	100.0	100.0	
VR (mm/mes)	0.0	0.0	0.0	0.0	-22.8	-8.1	-19.6	-17.7	15.1	-40.8	94.1	0.0	
ETR (mm/mes)	60.7	52.2	56.6	48.7	40.6	26.7	19.9	34.9	45.8	57.8	55.4	62.1	
Deficit (mm/mes)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00
Excedencia (mm/mes)	109.5	44.8	38.9	2.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.1	116.2	318.36
Recarga (mm/mes)	54.7	49.8	44.3	23.6	11.8	5.9	3.0	1.5	0.7	0.4	3.2	0.0	
Verificación											880	880	
Coeficiente de escorrentía											C =	0.36	

Cálculo del Balance Hídrico para años secos

Método Thornthwaite Datos Mensuales													
AÑO SECO 1999													
MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
P total (mm/mes)	78.8	80.9	34.4	18.9	3.0	0.0	0.7	0.0	54.2	38.8	22.9	17.1	349.70
ETP (mm/mes)	63.9	54.5	58.0	48.9	35.5	19.5	24.6	32.1	37.0	55.4	56.7	69.2	555.41
VRA (mm/mes)	14.9	26.4	-23.6	-30.0	-32.5	-19.5	-23.9	-32.1	17.2	-16.6	-33.8	-52.1	
R (mm/mes)	14.9	41.3	17.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.2	0.5	0.0	0.0	
VR (mm/mes)	14.9	26.4	-23.6	-17.7	0.0	0.0	0.0	0.0	17.2	-16.6	-0.5	0.0	
ETR (mm/mes)	63.9	54.5	58.0	36.6	3.0	0.0	0.7	0.0	37.0	55.4	23.4	17.1	
Deficit (mm/mes)	0.0	0.0	0.0	-12.3	-32.5	-19.5	-23.9	-32.1	0.0	0.0	-33.3	-52.1	-205.71
Excedencia (mm/mes)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00
Recarga (mm/mes)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Verificación											555	555	
Coeficiente de escorrentía											C =	0.00	

Método Thornthwaite Datos Mensuales													
AÑO SECO 2000													
MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
P total (mm/mes)	100.2	78.0	49.9	0.0	0.0	30.9	0.0	5.3	0.0	55.8	5.0	57.4	382.50
ETP (mm/mes)	66.31	54.10	57.00	47.02	38.72	21.73	16.92	35.95	39.81	50.59	60.12	65.95	554.22
VRA (mm/mes)	33.9	23.9	-7.1	-47.0	-38.7	9.2	-16.9	-30.6	-39.8	5.2	-55.1	-8.6	
R (mm/mes)	33.9	57.8	50.7	3.7	0.0	9.2	0.0	0.0	0.0	5.2	0.0	0.0	
VR (mm/mes)	33.9	23.9	-7.1	-47.0	-3.7	9.2	-9.2	0.0	0.0	5.2	-5.2	0.0	
ETR (mm/mes)	66.3	54.1	57.0	47.0	3.7	21.7	9.2	5.3	0.0	50.6	10.2	57.4	
Deficit (mm/mes)	0.0	0.0	0.0	0.0	-35.1	0.0	-7.8	-30.6	-39.8	0.0	-49.9	-8.6	-171.72
Excedencia (mm/mes)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00
Recarga (mm/mes)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Verificación											554	554	
Coeficiente de escorrentía											C =	0.00	

Método Thornthwaite Datos Mensuales													
AÑO SECO 2007													
MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
P total (mm/mes)	50.7	38.4	90.3	29.9	1.2	0.0	29.1	0.0	32.1	7.3	43.6	56.4	379.00
ETP (mm/mes)	64.34	56.35	58.35	50.79	34.56	27.62	24.51	34.35	46.40	54.75	55.49	62.84	570.34
VRA (mm/mes)	-13.6	-18.0	32.0	-20.9	-33.4	-27.6	4.6	-34.4	-14.3	-47.5	-11.9	-6.4	
R (mm/mes)	0.0	0.0	32.0	11.1	0.0	0.0	4.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
VR (mm/mes)	0.0	0.0	32.0	-20.9	-11.1	0.0	4.6	-4.6	0.0	0.0	0.0	0.0	
ETR (mm/mes)	50.7	38.4	58.3	50.8	12.3	0.0	24.5	4.6	32.1	7.3	43.6	56.4	
Deficit (mm/mes)	-13.6	-18.0	0.0	0.0	-22.3	-27.6	0.0	-29.8	-14.3	-47.5	-11.9	-6.4	-191.34
Excedencia (mm/mes)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00
Recarga (mm/mes)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Verificación											570	570	
Coeficiente de escorrentía											C =	0.00	

Método Thornthwaite Datos Mensuales													
AÑO SECO 2008													
MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
P total (mm/mes)	113.6	45.8	51.4	8.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.1	25.4	82.6	342.10
ETP (mm/mes)	63.52	55.63	55.99	44.55	25.65	23.98	22.15	29.57	41.46	56.70	68.25	67.14	554.60
VRA (mm/mes)	50.1	-9.8	-4.6	-36.4	-25.7	-24.0	-22.1	-29.6	-41.5	-41.6	-42.9	15.5	
R (mm/mes)	65.5	55.7	51.1	14.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.5	
VR (mm/mes)	50.1	-9.8	-4.6	-36.4	-14.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.5	
ETR (mm/mes)	63.5	55.6	56.0	44.6	14.8	0.0	0.0	0.0	0.0	15.1	25.4	67.1	
Deficit (mm/mes)	0.0	0.0	0.0	0.0	-10.9	-24.0	-22.1	-29.6	-41.5	-41.6	-42.9	0.0	-212.50
Excedencia (mm/mes)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00
Recarga (mm/mes)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Verificación											555	555	
Coeficiente de escorrentía											C =	0.00	

Método Thornthwaite Datos Mensuales													
AÑO SECO 2009													
MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
P total (mm/mes)	63.5	49.5	38.4	14.9	0.0	0.0	9.9	0.0	1.4	13.8	42.8	73.0	307.20
ETP (mm/mes)	62.78	54.48	55.29	45.93	33.14	15.11	23.58	25.47	46.01	67.36	65.42	68.11	562.68
VRA (mm/mes)	0.7	-5.0	-16.9	-31.0	-33.1	-15.1	-13.7	-25.5	-44.6	-53.6	-22.6	4.9	
R (mm/mes)	5.6	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.9	
VR (mm/mes)	0.7	-5.0	-0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.9	
ETR (mm/mes)	62.8	54.5	39.0	14.9	0.0	0.0	9.9	0.0	1.4	13.8	42.8	68.1	
Deficit (mm/mes)	0.0	0.0	-16.3	-31.0	-33.1	-15.1	-13.7	-25.5	-44.6	-53.6	-22.6	0.0	-255.48
Excedencia (mm/mes)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00
Recarga (mm/mes)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Verificación											563	563	
Coeficiente de escorrentía											C =	0.00	

Método Thornthwaite Datos Mensuales													
AÑO SECO 2010													
MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
P total (mm/mes)	98.6	104.6	16.4	18.3	43.3	0.0	0.0	7.5	5.6	41.8	23.7	41.2	401.00
ETP (mm/mes)	66.30	58.56	58.04	49.01	35.33	29.87	24.87	31.51	42.00	54.44	57.90	65.94	573.75
VRA (mm/mes)	32.3	46.0	-41.6	-30.7	8.0	-29.9	-24.9	-24.0	-36.4	-12.6	-34.2	-24.7	
R (mm/mes)	32.3	78.3	36.7	6.0	14.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
VR (mm/mes)	32.3	46.0	-41.6	-30.7	8.0	-14.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
ETR (mm/mes)	66.3	58.6	58.0	49.0	35.3	14.0	0.0	7.5	5.6	41.8	23.7	41.2	
Deficit (mm/mes)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-15.9	-24.9	-24.0	-36.4	-12.6	-34.2	-24.7	-172.75
Excedencia (mm/mes)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00
Recarga (mm/mes)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Verificación											574	574	
Coeficiente de escorrentía											C =	0.00	

Cálculo del Balance Hídrico para años normales

Método Thornthwaite Datos Mensuales													
AÑO NORMAL 2012													
MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
P total (mm/mes)	113.2	105.0	132.7	41.2	0.0	0.0	3.7	0.0	12.6	8.9	28.8	101.2	547.30
ETP (mm/mes)	62.42	52.16	54.41	47.61	32.66	22.57	24.46	31.30	46.18	58.36	64.53	63.76	560.42
VRA (mm/mes)	50.8	52.8	78.3	-6.4	-32.7	-22.6	-20.8	-31.3	-33.6	-49.5	-35.7	37.4	
R (mm/mes)	88.2	100.0	100.0	93.6	60.9	38.4	17.6	0.0	0.0	0.0	0.0	37.4	
VR (mm/mes)	50.8	11.8	0.0	-6.4	-32.7	-22.6	-20.8	-17.6	0.0	0.0	0.0	37.4	
ETR (mm/mes)	62.4	52.2	54.4	47.6	32.7	22.6	24.5	17.6	12.6	8.9	28.8	63.8	
Deficit (mm/mes)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-13.7	-33.6	-49.5	-35.7	0.0	-132.46
Excedencia (mm/mes)	0.0	41.1	78.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	119.34
Recarga (mm/mes)	0.0	20.5	49.4	24.7	12.4	6.2	3.1	1.5	0.8	0.4	0.2	0.0	
Verificación											680	680	
Coeficiente de escorrentía											C =	0.22	

Método Thornthwaite Datos Mensuales													
AÑO NORMAL 2013													

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
P total (mm/mes)	127.7	92.7	38.4	6.7	36.6	41.8	5.5	18.4	0.6	20.7	9.8	130.4	529.30
ETP (mm/mes)	61.06	53.98	58.47	42.39	39.20	25.58	31.17	32.79	40.30	54.34	63.25	64.12	566.65
VRA (mm/mes)	66.6	38.7	-20.1	-35.7	-2.6	16.2	-25.7	-14.4	-39.7	-33.6	-53.4	66.3	
R (mm/mes)	100.0	100.0	79.9	44.2	41.6	57.9	32.2	17.8	0.0	0.0	0.0	66.3	
VR (mm/mes)	33.7	0.0	-20.1	-35.7	-2.6	16.2	-25.7	-14.4	-17.8	0.0	0.0	66.3	
ETR (mm/mes)	61.1	54.0	58.5	42.4	39.2	25.6	31.2	32.8	18.4	20.7	9.8	64.1	
Deficit (mm/mes)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-21.9	-33.6	-53.4	0.0	-109.00
Excedencia (mm/mes)	32.9	38.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	71.64
Recarga (mm/mes)	16.5	27.6	13.8	6.9	3.4	1.7	0.9	0.4	0.2	0.1	0.1	0.0	
Verificación											638	638	
Coeficiente de escorrentía											C =	0.14	

Método Thornthwaite Datos Mensuales													
AÑO NORMAL 2014													

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
P total (mm/mes)	122.9	59.3	63.0	28.9	28.3	0.0	0.0	25.6	46.0	26.6	18.7	35.8	455.10
ETP (mm/mes)	61.58	53.93	55.76	47.38	34.59	26.62	23.95	34.38	48.52	53.74	59.94	67.48	567.87
VRA (mm/mes)	61.3	5.4	7.2	-18.5	-6.3	-26.6	-23.9	-8.8	-2.5	-27.1	-41.2	-31.7	
R (mm/mes)	61.3	66.7	73.9	55.5	49.2	22.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
VR (mm/mes)	61.3	5.4	7.2	-18.5	-6.3	-26.6	-22.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
ETR (mm/mes)	61.6	53.9	55.8	47.4	34.6	26.6	22.5	25.6	46.0	26.6	18.7	35.8	
Deficit (mm/mes)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-1.4	-8.8	-2.5	-27.1	-41.2	-31.7	-112.77
Excedencia (mm/mes)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00
Recarga (mm/mes)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Verificación											568	568	
Coeficiente de escorrentía											C =	0.00	

ANEXO D

Cálculo de la Evapotranspiración mediante el Método de Penman Monteith y cálculo del Balance Hídrico



ANEXO D: CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN MEDIANTE EL MÉTODO DE PENMAN MONTEITH Y CÁLCULO DEL BALANCE HÍDRICO

Método Penman-Monteith Datos Mensuales												
AÑO HÚMEDO 1975												
MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
T máxima (°C)	14.6	14.9	16.2	17.3	14.8	13.7	14	15.6	15.5	16.4	18.3	15.7
T mínima (°C)	2.4	4	2.1	-1.1	-2.5	-4.3	-8.5	-5.9	-0.5	-0.5	0.4	3
T media (°C)	8.5	9.4	9.2	8.1	6.1	4.7	2.8	4.8	7.5	7.9	9.3	9.2
Altura (m.s.n.m.)	3863	3863	3863	3863	3863	3863	3863	3863	3863	3863	3863	3863
LATITUD	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57
LONGITUD	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68
V viento (m/s)	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
P (m.s.n.m)	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23
Y (m.s.n.m.)	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Δ (P. V.)	0.075	0.08	0.08	0.073	0.07	0.06	0.05	0.06	0.07	0.07	0.08	0.08
eº (T)	1.11	1.18	1.16	1.08	0.94	0.85	0.75	0.86	1.04	1.07	1.17	1.16
e (T max)	1.66	1.69	1.84	1.97	1.68	1.57	1.60	1.77	1.76	1.87	2.10	1.78
e (T min)	0.73	0.81	0.71	0.56	0.51	0.44	0.32	0.39	0.59	0.59	0.63	0.76
e (s)	1.19	1.25	1.28	1.27	1.10	1.01	0.96	1.08	1.17	1.23	1.37	1.27
e(s) - e(a)	0.468	0.44	0.57	0.71	0.59	0.56	0.64	0.69	0.59	0.64	0.74	0.51
φ (rad)	-0.289	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29
DIAS	31.000	28.00	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00
DIAS JULIANOS	31.000	59.00	90.00	120.00	151.00	181.00	212.00	243.00	273.00	304.00	334.00	365.00
δ	-0.309	-0.15	0.06	0.26	0.38	0.40	0.32	0.14	-0.07	-0.26	-0.38	-0.40
ωs (rad)	1.666	1.62	1.55	1.49	1.45	1.44	1.47	1.53	1.59	1.65	1.69	1.70
dr (MJm²dia⁻¹)	1.028	1.02	1.00	0.98	0.97	0.97	0.97	0.98	1.00	1.02	1.03	1.03
Ra (MJm²dia⁻¹)	40.72	38.83	34.89	30.22	26.60	25.89	28.34	32.81	37.08	39.93	41.09	41.33
Rs (MJm²dia⁻¹)	22.76	20.51	20.96	20.74	17.70	17.57	21.51	24.34	23.73	26.26	27.81	23.56
Rns (MJm²dia⁻¹)	17.52	15.79	16.14	15.97	13.63	13.53	16.56	18.74	18.27	20.22	21.42	18.14
Rso (MJm²dia⁻¹)	33.69	32.12	28.86	25.00	22.01	21.42	23.44	27.14	30.68	33.03	33.99	34.19
Rnl (MJm²dia⁻¹)	3.84	3.43	4.37	5.59	5.31	5.50	6.65	6.41	4.94	5.18	5.43	3.97
Rn (MJm²dia⁻¹)	13.68	12.36	11.77	10.38	8.33	8.03	9.91	12.33	13.34	15.04	15.99	14.18
G (MJm²dia⁻¹)	-0.10	0.13	-0.03	-0.15	-0.28	-0.20	-0.27	0.28	0.38	0.06	0.20	-0.01
Eto (MJm²dia⁻¹)	3.76	3.43	3.55	3.51	2.86	2.71	3.20	3.70	3.77	4.30	4.72	3.97
Eto mensual (mm/mes)	116.7	96.0	110.0	105.3	88.6	81.4	99.2	114.6	113.0	133.3	141.6	123.1
									PROMEDIO		110.24	mm/mes

Método Penman-Monteith Datos Mensuales
AÑO HÚMEDO 1978

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
T máxima (°C)	16.2	17.6	17.6	17.6	17.1	15	14.7	15.7	16.2	18.8	17.2	16.4
T mínima (°C)	4.4	3.7	3.1	0.9	-4.9	-6.4	-7.9	-4	-3.4	-1.1	2.9	4.5
T media (°C)	10.3	10.6	10.3	9.2	6.1	4.3	3.4	5.8	6.4	8.8	10.0	10.4
Altura (m.s.n.m.)	3863	3863	3863	3863	3863	3863	3863	3863	3863	3863	3863	3863
LATITUD	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57
LONGITUD	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68
V viento (m/s)	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
P (m.s.n.m)	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23
Y (m.s.n.m.)	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Δ (P. V.)	0.084	0.09	0.08	0.078	0.07	0.06	0.06	0.06	0.07	0.08	0.08	0.08
e ^o (T)	1.25	1.28	1.25	1.16	0.94	0.83	0.78	0.92	0.96	1.13	1.23	1.26
e (T max)	1.84	2.01	2.01	2.01	1.95	1.71	1.67	1.78	1.84	2.17	1.96	1.87
e (T min)	0.84	0.80	0.76	0.65	0.42	0.38	0.34	0.45	0.48	0.56	0.75	0.84
e (s)	1.34	1.40	1.39	1.33	1.19	1.04	1.00	1.12	1.16	1.37	1.36	1.35
e(s) - e(a)	0.503	0.61	0.62	0.68	0.76	0.66	0.67	0.66	0.68	0.80	0.61	0.51
ϕ (rad)	-0.289	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29
DIAS	31.000	28.00	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00
DIAS JULIANOS	31.000	59.00	90.00	120.00	151.00	181.00	212.00	243.00	273.00	304.00	334.00	365.00
δ	-0.309	-0.15	0.06	0.26	0.38	0.40	0.32	0.14	-0.07	-0.26	-0.38	-0.40
ω s (rad)	1.666	1.62	1.55	1.49	1.45	1.44	1.47	1.53	1.59	1.65	1.69	1.70
dr (MJm ² dia ⁻¹)	1.028	1.02	1.00	0.98	0.97	0.97	0.97	0.98	1.00	1.02	1.03	1.03
Ra (MJm ² dia ⁻¹)	40.72	38.83	34.89	30.22	26.60	25.89	28.34	32.81	37.08	39.93	41.09	41.33
Rs (MJm ² dia ⁻¹)	22.38	23.16	21.26	19.76	19.96	19.16	21.55	23.30	26.27	28.50	24.86	22.81
Rns (MJm ² dia ⁻¹)	17.23	17.84	16.37	15.21	15.37	14.75	16.60	17.94	20.23	21.94	19.14	17.56
Rso (MJm ² dia ⁻¹)	33.69	32.12	28.86	25.00	22.01	21.42	23.44	27.14	30.68	33.03	33.99	34.19
Rnl (MJm ² dia ⁻¹)	3.68	4.28	4.46	5.10	6.55	6.38	6.68	5.95	5.92	5.98	4.41	3.70
Rn (MJm ² dia ⁻¹)	13.55	13.56	11.91	10.11	8.82	8.37	9.92	11.99	14.31	15.96	14.73	13.86
G (MJm ² dia ⁻¹)	-0.01	0.04	-0.04	-0.15	-0.43	-0.25	-0.13	0.34	0.08	0.34	0.17	0.06
Eto (MJm ² dia ⁻¹)	3.87	4.06	3.73	3.43	3.34	3.00	3.25	3.60	4.16	4.78	4.26	3.95
Eto mensual (mm/mes)	120.1	113.6	115.5	102.8	103.4	89.9	100.8	111.6	124.8	148.3	127.7	122.3
										PROMEDIO	115.06	mm/mes

Método Penman-Monteith Datos Mensuales
AÑO HÚMEDO 1979

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
T máxima (°C)	14.9	16.3	16.1	15.9	16.1	15.6	14.3	16.2	17.6	17.4	18.8	17.2
T mínima (°C)	4.8	3.5	3.4	0.4	-5	-4.5	-5.5	-6.6	-3.2	1.5	2.4	3.7
T media (°C)	9.8	9.9	9.7	8.2	5.5	5.6	4.4	4.8	7.2	9.4	10.6	10.5
Altura (m.s.n.m.)	3863	3863	3863	3863	3863	3863	3863	3863	3863	3863	3863	3863
LATITUD	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57
LONGITUD	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68
V viento (m/s)	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
P (m.s.n.m)	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23
Y (m.s.n.m.)	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Δ (P. V.)	0.081	0.08	0.08	0.074	0.06	0.06	0.06	0.06	0.07	0.08	0.09	0.08
e ^o (T)	1.21	1.22	1.20	1.09	0.90	0.91	0.84	0.86	1.02	1.18	1.28	1.27
e (T max)	1.69	1.85	1.83	1.81	1.83	1.77	1.63	1.84	2.01	1.99	2.17	1.96
e (T min)	0.86	0.79	0.78	0.63	0.42	0.44	0.41	0.37	0.48	0.68	0.73	0.80
e (s)	1.28	1.32	1.30	1.22	1.13	1.10	1.02	1.11	1.25	1.33	1.45	1.38
e(s) - e(a)	0.417	0.53	0.53	0.59	0.70	0.67	0.61	0.73	0.77	0.65	0.72	0.58
ϕ (rad)	-0.289	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29
DIAS	31.000	28.00	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00
DIAS JULIANOS	31.000	59.00	90.00	120.00	151.00	181.00	212.00	243.00	273.00	304.00	334.00	365.00
δ	-0.309	-0.15	0.06	0.26	0.38	0.40	0.32	0.14	-0.07	-0.26	-0.38	-0.40
ω s (rad)	1.666	1.62	1.55	1.49	1.45	1.44	1.47	1.53	1.59	1.65	1.69	1.70
dr (MJm ² dia ⁻¹)	1.028	1.02	1.00	0.98	0.97	0.97	0.97	0.98	1.00	1.02	1.03	1.03
Ra (MJm ² dia ⁻¹)	40.72	38.83	34.89	30.22	26.60	25.89	28.34	32.81	37.08	39.93	41.09	41.33
Rs (MJm ² dia ⁻¹)	20.71	22.23	19.89	19.03	19.55	18.57	20.17	25.06	27.06	25.47	26.62	24.30
Rns (MJm ² dia ⁻¹)	15.94	17.12	15.32	14.66	15.05	14.30	15.53	19.30	20.84	19.61	20.50	18.71
Rso (MJm ² dia ⁻¹)	33.69	32.12	28.86	25.00	22.01	21.42	23.44	27.14	30.68	33.03	33.99	34.19
Rnl (MJm ² dia ⁻¹)	3.18	3.98	3.96	4.79	6.31	6.05	5.97	6.75	6.23	4.88	4.99	4.17
Rn (MJm ² dia ⁻¹)	12.77	13.13	11.36	9.87	8.74	8.25	9.56	12.55	14.60	14.74	15.51	14.54
G (MJm ² dia ⁻¹)	-0.10	0.01	-0.03	-0.21	-0.38	0.01	-0.17	0.06	0.34	0.31	0.17	-0.01
Eto (MJm ² dia ⁻¹)	3.54	3.81	3.41	3.20	3.19	2.94	3.09	3.87	4.36	4.28	4.66	4.24
Eto mensual (mm/mes)	109.8	106.7	105.7	96.0	98.7	88.2	95.9	120.1	130.9	132.8	139.8	131.4
PROMEDIO										113.00	mm/mes	

Método Penman-Monteith Datos Mensuales
AÑO HÚMEDO 1981

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
T máxima (°C)	17	16.3	16.7	16.6	16.8	15.5	16.4	16.2	15.4	16.9	17.9	17.9
T mínima (°C)	5.1	4.2	3	-1.4	-5	-8.8	-7.8	-2.9	-4.2	0.9	3.4	4.2
T media (°C)	11.0	10.3	9.9	7.6	5.9	3.3	4.3	6.7	5.6	8.9	10.7	11.0
Altura (m.s.n.m.)	3863	3863	3863	3863	3863	3863	3863	3863	3863	3863	3863	3863
LATITUD	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57
LONGITUD	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68
V viento (m/s)	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
P (m.s.n.m)	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23
Y (m.s.n.m.)	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Δ (P. V.)	0.087	0.08	0.08	0.071	0.06	0.05	0.06	0.07	0.06	0.08	0.09	0.09
e ^o (T)	1.31	1.25	1.22	1.04	0.93	0.77	0.83	0.98	0.91	1.14	1.29	1.31
e (T max)	1.94	1.85	1.90	1.89	1.91	1.76	1.87	1.84	1.75	1.93	2.05	2.05
e (T min)	0.88	0.82	0.76	0.55	0.42	0.31	0.34	0.49	0.45	0.65	0.78	0.82
e (s)	1.41	1.34	1.33	1.22	1.17	1.04	1.10	1.17	1.10	1.29	1.42	1.44
e(s) - e(a)	0.530	0.51	0.57	0.67	0.75	0.72	0.76	0.67	0.65	0.64	0.64	0.61
ϕ (rad)	-0.289	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29
DIAS	31.000	28.00	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00
DIAS JULIANOS	31.000	59.00	90.00	120.00	151.00	181.00	212.00	243.00	273.00	304.00	334.00	365.00
δ	-0.309	-0.15	0.06	0.26	0.38	0.40	0.32	0.14	-0.07	-0.26	-0.38	-0.40
ω s (rad)	1.666	1.62	1.55	1.49	1.45	1.44	1.47	1.53	1.59	1.65	1.69	1.70
dr (MJm ² dia ⁻¹)	1.028	1.02	1.00	0.98	0.97	0.97	0.97	0.98	1.00	1.02	1.03	1.03
Ra (MJm ² dia ⁻¹)	40.72	38.83	34.89	30.22	26.60	25.89	28.34	32.81	37.08	39.93	41.09	41.33
Rs (MJm ² dia ⁻¹)	22.47	21.61	20.66	20.51	19.87	20.42	22.30	22.94	26.27	25.55	25.03	24.47
Rns (MJm ² dia ⁻¹)	17.31	16.64	15.91	15.79	15.30	15.72	17.17	17.66	20.23	19.68	19.27	18.85
Rso (MJm ² dia ⁻¹)	33.69	32.12	28.86	25.00	22.01	21.42	23.44	27.14	30.68	33.03	33.99	34.19
Rnl (MJm ² dia ⁻¹)	3.69	3.77	4.24	5.48	6.50	7.11	7.10	5.79	5.92	4.91	4.45	4.21
Rn (MJm ² dia ⁻¹)	13.62	12.87	11.67	10.31	8.80	8.62	10.08	11.88	14.30	14.76	14.82	14.63
G (MJm ² dia ⁻¹)	0.00	-0.10	-0.06	-0.32	-0.24	-0.36	0.14	0.34	-0.15	0.46	0.25	0.04
Eto (MJm ² dia ⁻¹)	3.96	3.76	3.57	3.45	3.26	3.18	3.45	3.62	4.11	4.20	4.34	4.33
Eto mensual (mm/mes)	122.9	105.3	110.7	103.5	101.0	95.4	106.9	112.3	123.2	130.3	130.3	134.1
PROMEDIO										114.66	mm/mes	

Método Penman-Monteith Datos Mensuales
AÑO HÚMEDO 1985

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
T máxima (°C)	15.5	14.7	16.5	16.2	16.2	13.7	14.2	16.8	15.7	19.4	15	15.6
T mínima (°C)	4.2	4.6	3.1	1.9	-1.3	-3.8	-7.5	-4.6	0.7	0.1	3.5	4.5
T media (°C)	9.8	9.6	9.8	9.0	7.4	4.9	3.4	6.1	8.2	9.8	9.3	10.0
Altura (m.s.n.m.)	3863	3863	3863	3863	3863	3863	3863	3863	3863	3863	3863	3863
LATITUD	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57
LONGITUD	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68
V viento (m/s)	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
P (m.s.n.m)	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23
Y (m.s.n.m.)	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Δ (P. V.)	0.081	0.08	0.08	0.078	0.07	0.06	0.06	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08
e ^o (T)	1.21	1.20	1.21	1.15	1.03	0.87	0.78	0.94	1.09	1.21	1.17	1.23
e (T max)	1.76	1.67	1.88	1.84	1.84	1.57	1.62	1.91	1.78	2.25	1.71	1.77
e (T min)	0.82	0.85	0.76	0.70	0.56	0.46	0.35	0.43	0.64	0.62	0.79	0.84
e (s)	1.29	1.26	1.32	1.27	1.20	1.01	0.98	1.17	1.21	1.43	1.25	1.31
e(s) - e(a)	0.468	0.41	0.56	0.57	0.64	0.55	0.64	0.74	0.57	0.82	0.46	0.47
φ (rad)	-0.289	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29
DIAS	31.000	28.00	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00
DIAS JULIANOS	31.000	59.00	90.00	120.00	151.00	181.00	212.00	243.00	273.00	304.00	334.00	365.00
δ	-0.309	-0.15	0.06	0.26	0.38	0.40	0.32	0.14	-0.07	-0.26	-0.38	-0.40
ωs (rad)	1.666	1.62	1.55	1.49	1.45	1.44	1.47	1.53	1.59	1.65	1.69	1.70
dr (MJm ² dia ⁻¹)	1.028	1.02	1.00	0.98	0.97	0.97	0.97	0.98	1.00	1.02	1.03	1.03
Ra (MJm ² dia ⁻¹)	40.72	38.83	34.89	30.22	26.60	25.89	28.34	32.81	37.08	39.93	41.09	41.33
Rs (MJm ² dia ⁻¹)	21.90	19.75	20.43	18.28	17.81	17.33	21.12	24.28	22.98	28.07	22.29	22.03
Rns (MJm ² dia ⁻¹)	16.86	15.20	15.73	14.08	13.71	13.34	16.26	18.70	17.69	21.61	17.17	16.96
Rso (MJm ² dia ⁻¹)	33.69	32.12	28.86	25.00	22.01	21.42	23.44	27.14	30.68	33.03	33.99	34.19
Rnl (MJm ² dia ⁻¹)	3.54	3.18	4.16	4.43	5.35	5.36	6.45	6.39	4.65	5.80	3.62	3.48
Rn (MJm ² dia ⁻¹)	13.32	12.02	11.58	9.64	8.36	7.98	9.81	12.30	13.05	15.81	13.55	13.49
G (MJm ² dia ⁻¹)	-0.03	-0.03	0.03	-0.11	-0.22	-0.35	-0.21	0.38	0.29	0.22	-0.07	0.10
Eto (MJm ² dia ⁻¹)	3.74	3.35	3.50	3.12	2.98	2.72	3.18	3.81	3.72	4.84	3.76	3.75
Eto mensual (mm/mes)	115.9	93.7	108.6	93.5	92.4	81.5	98.5	118.2	111.7	150.2	112.7	116.3
PROMEDIO										107.77	mm/mes	

Método Penman-Monteith Datos Mensuales
AÑO SECO 1999

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
T máxima (°C)	16.4	14.7	14.9	15.6	15.7	14.5	14.4	15.9	16	16.5	18	18.8
T mínima (°C)	3.5	4.4	4.4	1.6	-3.5	-8.1	-6.4	-5.5	-3.9	1.4	0.2	2.8
T media (°C)	9.9	9.6	9.6	8.6	6.0	3.2	4.0	5.2	6.1	8.9	9.1	10.8
Altura (m.s.n.m.)	3863	3863	3863	3863	3863	3863	3863	3863	3863	3863	3863	3863
LATITUD	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57
LONGITUD	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68
V viento (m/s)	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
P (m.s.n.m)	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23
Y (m.s.n.m.)	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Δ (P. V.)	0.082	0.08	0.08	0.076	0.06	0.05	0.06	0.06	0.07	0.08	0.08	0.09
e ^o (T)	1.22	1.20	1.20	1.12	0.94	0.77	0.81	0.88	0.94	1.14	1.16	1.30
e (T max)	1.87	1.67	1.69	1.77	1.78	1.65	1.64	1.81	1.82	1.88	2.06	2.17
e (T min)	0.79	0.84	0.84	0.69	0.47	0.33	0.38	0.41	0.46	0.68	0.62	0.75
e (s)	1.33	1.25	1.27	1.23	1.13	0.99	1.01	1.11	1.14	1.28	1.34	1.46
e(s) - e(a)	0.540	0.42	0.43	0.54	0.66	0.66	0.63	0.70	0.68	0.60	0.72	0.71
φ (rad)	-0.289	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29
DIAS	31.000	28.00	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00
DIAS JULIANOS	31.000	59.00	90.00	120.00	151.00	181.00	212.00	243.00	273.00	304.00	334.00	365.00
δ	-0.309	-0.15	0.06	0.26	0.38	0.40	0.32	0.14	-0.07	-0.26	-0.38	-0.40
ωs (rad)	1.666	1.62	1.55	1.49	1.45	1.44	1.47	1.53	1.59	1.65	1.69	1.70
dr (MJm ² dia ⁻¹)	1.028	1.02	1.00	0.98	0.97	0.97	0.97	0.98	1.00	1.02	1.03	1.03
Ra (MJm ² dia ⁻¹)	40.72	38.83	34.89	30.22	26.60	25.89	28.34	32.81	37.08	39.93	41.09	41.33
Rs (MJm ² dia ⁻¹)	23.40	19.94	18.09	18.09	18.65	19.69	20.68	24.28	26.47	24.82	27.73	26.45
Rns (MJm ² dia ⁻¹)	18.02	15.35	13.93	13.93	14.36	15.16	15.92	18.70	20.38	19.11	21.36	20.37
Rso (MJm ² dia ⁻¹)	33.69	32.12	28.86	25.00	22.01	21.42	23.44	27.14	30.68	33.03	33.99	34.19
Rnl (MJm ² dia ⁻¹)	4.01	3.25	3.30	4.36	5.82	6.68	6.23	6.39	6.00	4.66	5.41	4.87
Rn (MJm ² dia ⁻¹)	14.01	12.11	10.62	9.57	8.55	8.49	9.69	12.31	14.38	14.45	15.95	15.50
G (MJm ² dia ⁻¹)	-0.13	-0.04	0.00	-0.14	-0.36	-0.39	0.11	0.17	0.13	0.39	0.03	0.24
Eto (MJm ² dia ⁻¹)	4.04	3.38	3.07	3.05	3.05	3.02	3.10	3.75	4.15	4.09	4.71	4.63
Eto mensual (mm/mes)	125.3	94.6	95.1	91.4	94.6	90.7	96.0	116.2	124.5	126.7	141.4	143.6
PROMEDIO										111.68	mm/mes	

Método Penman-Monteith Datos Mensuales
AÑO SECO 2007

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
T máxima (°C)	17.1	17	16.6	17.2	16.1	16.5	14.3	16.4	15.7	18.2	17.9	17.2
T mínima (°C)	3.9	3.9	3.8	1.8	-3.5	-6	-5.6	-4.2	1.1	0.4	1	3.1
T media (°C)	10.5	10.5	10.2	9.5	6.3	5.2	4.4	6.1	8.4	9.3	9.4	10.2
Altura (m.s.n.m.)	3863	3863	3863	3863	3863	3863	3863	3863	3863	3863	3863	3863
LATITUD	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57
LONGITUD	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68
V viento (m/s)	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
P (m.s.n.m)	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23
Y (m.s.n.m.)	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Δ (P. V.)	0.085	0.08	0.08	0.080	0.07	0.06	0.06	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08
eº (T)	1.27	1.27	1.24	1.19	0.95	0.88	0.84	0.94	1.10	1.17	1.18	1.24
e (T max)	1.95	1.94	1.89	1.96	1.83	1.88	1.63	1.87	1.78	2.09	2.05	1.96
e (T min)	0.81	0.81	0.80	0.70	0.47	0.39	0.40	0.45	0.66	0.63	0.66	0.76
e (s)	1.38	1.37	1.35	1.33	1.15	1.13	1.02	1.16	1.22	1.36	1.35	1.36
e(s) - e(a)	0.571	0.57	0.54	0.63	0.68	0.74	0.61	0.71	0.56	0.73	0.70	0.60
φ (rad)	-0.289	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29
DIAS	31.000	28.00	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00
DIAS JULIANOS	31.000	59.00	90.00	120.00	151.00	181.00	212.00	243.00	273.00	304.00	334.00	365.00
δ	-0.309	-0.15	0.06	0.26	0.38	0.40	0.32	0.14	-0.07	-0.26	-0.38	-0.40
ws (rad)	1.666	1.62	1.55	1.49	1.45	1.44	1.47	1.53	1.59	1.65	1.69	1.70
dr (MJm²dia⁻¹)	1.028	1.02	1.00	0.98	0.97	0.97	0.97	0.98	1.00	1.02	1.03	1.03
Ra (MJm²dia⁻¹)	40.72	38.83	34.89	30.22	26.60	25.89	28.34	32.81	37.08	39.93	41.09	41.33
Rs (MJm²dia⁻¹)	23.67	22.49	19.97	18.97	18.84	19.65	20.22	23.82	22.67	26.95	27.02	24.83
Rns (MJm²dia⁻¹)	18.23	17.32	15.38	14.61	14.51	15.13	15.57	18.34	17.46	20.75	20.81	19.12
Rso (MJm²dia⁻¹)	33.69	32.12	28.86	25.00	22.01	21.42	23.44	27.14	30.68	33.03	33.99	34.19
Rnl (MJm²dia⁻¹)	4.08	4.06	3.98	4.73	5.92	6.67	6.00	6.18	4.53	5.40	5.15	4.35
Rn (MJm²dia⁻¹)	14.14	13.26	11.40	9.87	8.59	8.45	9.58	12.16	12.93	15.35	15.66	14.77
G (MJm²dia⁻¹)	0.04	0.00	-0.04	-0.10	-0.45	-0.15	-0.11	0.24	0.32	0.13	0.01	0.11
Eto (MJm²dia⁻¹)	4.12	3.92	3.47	3.29	3.13	3.17	3.09	3.75	3.68	4.59	4.62	4.28
Eto mensual (mm/mes)	127.7	109.8	107.6	98.6	97.0	95.0	95.7	116.2	110.5	142.2	138.7	132.6
										PROMEDIO	114.30	mm/mes

Método Penman-Monteith Datos Mensuales
AÑO SECO 2008

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
T máxima (°C)	14.8	16.1	16.4	17.3	15.8	15.5	15.4	16.4	17.6	17.9	19.8	16.9
T mínima (°C)	4.9	3.7	2.2	-1.6	-7.3	-7.3	-8.3	-6.7	-3.6	0.6	2.9	4.3
T media (°C)	9.9	9.9	9.3	7.8	4.2	4.1	3.6	4.8	7.0	9.2	11.3	10.5
Altura (m.s.n.m.)	3863	3863	3863	3863	3863	3863	3863	3863	3863	3863	3863	3863
LATITUD	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57
LONGITUD	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68
V viento (m/s)	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
P (m.s.n.m)	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23
Y (m.s.n.m.)	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Δ (P. V.)	0.082	0.08	0.08	0.072	0.06	0.06	0.06	0.06	0.07	0.08	0.09	0.08
e ^o (T)	1.22	1.22	1.17	1.06	0.82	0.82	0.79	0.86	1.00	1.16	1.34	1.27
e (T max)	1.68	1.83	1.87	1.97	1.80	1.76	1.75	1.87	2.01	2.05	2.31	1.93
e (T min)	0.87	0.80	0.72	0.54	0.35	0.35	0.33	0.37	0.47	0.64	0.75	0.83
e (s)	1.27	1.31	1.29	1.26	1.07	1.06	1.04	1.12	1.24	1.34	1.53	1.38
e(s) - e(a)	0.409	0.52	0.57	0.72	0.72	0.70	0.71	0.75	0.77	0.71	0.78	0.55
ϕ (rad)	-0.289	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29
DIAS	31.000	28.00	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00
DIAS JULIANOS	31.000	59.00	90.00	120.00	151.00	181.00	212.00	243.00	273.00	304.00	334.00	365.00
δ	-0.309	-0.15	0.06	0.26	0.38	0.40	0.32	0.14	-0.07	-0.26	-0.38	-0.40
ω s (rad)	1.666	1.62	1.55	1.49	1.45	1.44	1.47	1.53	1.59	1.65	1.69	1.70
dr (MJm ² dia ⁻¹)	1.028	1.02	1.00	0.98	0.97	0.97	0.97	0.98	1.00	1.02	1.03	1.03
Ra (MJm ² dia ⁻¹)	40.72	38.83	34.89	30.22	26.60	25.89	28.34	32.81	37.08	39.93	41.09	41.33
Rs (MJm ² dia ⁻¹)	20.50	21.88	21.04	21.02	20.46	19.78	22.07	25.23	27.32	26.57	27.02	23.47
Rns (MJm ² dia ⁻¹)	15.78	16.85	16.20	16.18	15.75	15.23	16.99	19.43	21.04	20.46	20.81	18.07
Rso (MJm ² dia ⁻¹)	33.69	32.12	28.86	25.00	22.01	21.42	23.44	27.14	30.68	33.03	33.99	34.19
Rnl (MJm ² dia ⁻¹)	3.12	3.87	4.40	5.72	6.82	6.74	6.96	6.82	6.34	5.27	5.11	3.91
Rn (MJm ² dia ⁻¹)	12.67	12.98	11.80	10.46	8.93	8.49	10.04	12.60	14.69	15.19	15.70	14.17
G (MJm ² dia ⁻¹)	-0.08	0.00	-0.08	-0.21	-0.50	-0.01	-0.07	0.17	0.31	0.31	0.29	-0.11
Eto (MJm ² dia ⁻¹)	3.51	3.75	3.59	3.55	3.27	3.06	3.36	3.89	4.39	4.47	4.80	4.12
Eto mensual (mm/mes)	108.8	105.0	111.3	106.5	101.3	91.7	104.2	120.6	131.8	138.5	144.0	127.7
PROMEDIO										115.94	mm/mes	

Método Penman-Monteith Datos Mensuales
AÑO SECO 2008

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
T máxima (°C)	14.8	16.1	16.4	17.3	15.8	15.5	15.4	16.4	17.6	17.9	19.8	16.9
T mínima (°C)	4.9	3.7	2.2	-1.6	-7.3	-7.3	-8.3	-6.7	-3.6	0.6	2.9	4.3
T media (°C)	9.9	9.9	9.3	7.8	4.2	4.1	3.6	4.8	7.0	9.2	11.3	10.5
Altura (m.s.n.m.)	3863	3863	3863	3863	3863	3863	3863	3863	3863	3863	3863	3863
LATITUD	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57
LONGITUD	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68
V viento (m/s)	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
P (m.s.n.m)	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23
Y (m.s.n.m.)	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Δ (P. V.)	0.082	0.08	0.08	0.072	0.06	0.06	0.06	0.06	0.07	0.08	0.09	0.08
e ^o (T)	1.22	1.22	1.17	1.06	0.82	0.82	0.79	0.86	1.00	1.16	1.34	1.27
e (T max)	1.68	1.83	1.87	1.97	1.80	1.76	1.75	1.87	2.01	2.05	2.31	1.93
e (T min)	0.87	0.80	0.72	0.54	0.35	0.35	0.33	0.37	0.47	0.64	0.75	0.83
e (s)	1.27	1.31	1.29	1.26	1.07	1.06	1.04	1.12	1.24	1.34	1.53	1.38
e(s) - e(a)	0.409	0.52	0.57	0.72	0.72	0.70	0.71	0.75	0.77	0.71	0.78	0.55
φ (rad)	-0.289	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29
DIAS	31.000	28.00	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00
DIAS JULIANOS	31.000	59.00	90.00	120.00	151.00	181.00	212.00	243.00	273.00	304.00	334.00	365.00
δ	-0.309	-0.15	0.06	0.26	0.38	0.40	0.32	0.14	-0.07	-0.26	-0.38	-0.40
ωs (rad)	1.666	1.62	1.55	1.49	1.45	1.44	1.47	1.53	1.59	1.65	1.69	1.70
dr (MJm ² dia ⁻¹)	1.028	1.02	1.00	0.98	0.97	0.97	0.97	0.98	1.00	1.02	1.03	1.03
Ra (MJm ² dia ⁻¹)	40.72	38.83	34.89	30.22	26.60	25.89	28.34	32.81	37.08	39.93	41.09	41.33
Rs (MJm ² dia ⁻¹)	20.50	21.88	21.04	21.02	20.46	19.78	22.07	25.23	27.32	26.57	27.02	23.47
Rns (MJm ² dia ⁻¹)	15.78	16.85	16.20	16.18	15.75	15.23	16.99	19.43	21.04	20.46	20.81	18.07
Rso (MJm ² dia ⁻¹)	33.69	32.12	28.86	25.00	22.01	21.42	23.44	27.14	30.68	33.03	33.99	34.19
Rnl (MJm ² dia ⁻¹)	3.12	3.87	4.40	5.72	6.82	6.74	6.96	6.82	6.34	5.27	5.11	3.91
Rn (MJm ² dia ⁻¹)	12.67	12.98	11.80	10.46	8.93	8.49	10.04	12.60	14.69	15.19	15.70	14.17
G (MJm ² dia ⁻¹)	-0.08	0.00	-0.08	-0.21	-0.50	-0.01	-0.07	0.17	0.31	0.31	0.29	-0.11
Eto (MJm ² dia ⁻¹)	3.51	3.75	3.59	3.55	3.27	3.06	3.36	3.89	4.39	4.47	4.80	4.12
Eto mensual (mm/mes)	108.8	105.0	111.3	106.5	101.3	91.7	104.2	120.6	131.8	138.5	144.0	127.7
PROMEDIO										115.94	mm/mes	

Método Penman-Monteith Datos Mensuales
AÑO SECO 2009

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
T máxima (°C)	16.4	16.4	16.3	17.2	16.6	15.6	14.6	16.3	18.4	19.8	18.5	17.6
T mínima (°C)	4	3.7	2.8	-0.1	-4.5	-10.2	-6.2	-7.5	-1.6	3.3	4	4.7
T media (°C)	10.2	10.1	9.6	8.5	6.0	2.7	4.2	4.4	8.3	11.6	11.2	11.1
Altura (m.s.n.m.)	3863	3863	3863	3863	3863	3863	3863	3863	3863	3863	3863	3863
LATITUD	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57
LONGITUD	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68
V viento (m/s)	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
P (m.s.n.m)	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23
Y (m.s.n.m.)	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Δ (P. V.)	0.083	0.08	0.08	0.075	0.06	0.05	0.06	0.06	0.07	0.09	0.09	0.09
e ^o (T)	1.24	1.24	1.20	1.11	0.94	0.74	0.82	0.84	1.09	1.37	1.33	1.32
e (T max)	1.87	1.87	1.85	1.96	1.89	1.77	1.66	1.85	2.12	2.31	2.13	2.01
e (T min)	0.81	0.80	0.75	0.61	0.44	0.28	0.38	0.35	0.54	0.77	0.81	0.85
e (s)	1.34	1.33	1.30	1.28	1.16	1.03	1.02	1.10	1.33	1.54	1.47	1.43
e(s) - e(a)	0.526	0.53	0.55	0.68	0.73	0.75	0.64	0.75	0.79	0.77	0.66	0.58
φ (rad)	-0.289	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29
DIAS	31.000	28.00	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00
DIAS JULIANOS	31.000	59.00	90.00	120.00	151.00	181.00	212.00	243.00	273.00	304.00	334.00	365.00
δ	-0.309	-0.15	0.06	0.26	0.38	0.40	0.32	0.14	-0.07	-0.26	-0.38	-0.40
ωs (rad)	1.666	1.62	1.55	1.49	1.45	1.44	1.47	1.53	1.59	1.65	1.69	1.70
dr (MJm ² dia ⁻¹)	1.028	1.02	1.00	0.98	0.97	0.97	0.97	0.98	1.00	1.02	1.03	1.03
Ra (MJm ² dia ⁻¹)	40.72	38.83	34.89	30.22	26.60	25.89	28.34	32.81	37.08	39.93	41.09	41.33
Rs (MJm ² dia ⁻¹)	22.94	22.14	20.51	20.11	19.55	21.04	20.68	25.61	26.53	25.95	25.03	23.75
Rns (MJm ² dia ⁻¹)	17.67	17.05	15.79	15.48	15.05	16.20	15.92	19.72	20.43	19.98	19.27	18.29
Rso (MJm ² dia ⁻¹)	33.69	32.12	28.86	25.00	22.01	21.42	23.44	27.14	30.68	33.03	33.99	34.19
Rnl (MJm ² dia ⁻¹)	3.86	3.95	4.19	5.28	6.32	7.46	6.23	7.00	6.01	4.99	4.43	3.98
Rn (MJm ² dia ⁻¹)	13.81	13.10	11.60	10.20	8.74	8.74	9.69	12.72	14.42	14.99	14.84	14.31
G (MJm ² dia ⁻¹)	-0.13	-0.01	-0.07	-0.15	-0.35	-0.46	0.21	0.03	0.55	0.46	-0.06	-0.01
Eto (MJm ² dia ⁻¹)	3.99	3.82	3.52	3.43	3.23	3.26	3.10	3.94	4.36	4.60	4.48	4.21
Eto mensual (mm/mes)	123.7	106.9	109.0	102.9	100.1	97.9	96.1	122.1	130.9	142.5	134.4	130.6
PROMEDIO										116.41	mm/mes	

Método Penman-Monteith Datos Mensuales
AÑO SECO 2010

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
T máxima (°C)	16.4	16.4	16.3	17.2	16.6	15.6	14.6	16.3	18.4	19.8	18.5	17.6
T mínima (°C)	5.1	5.2	2.6	-0.2	-3.6	-4.8	-6.7	-6.1	-2.7	0.9	0.7	4
T media (°C)	11.0	11.1	10.3	9.3	6.6	5.8	4.6	5.7	7.7	9.4	10.0	10.9
Altura (m.s.n.m.)	3863	3863	3863	3863	3863	3863	3863	3863	3863	3863	3863	3863
LATITUD	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57
LONGITUD	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68
V viento (m/s)	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
P (m.s.n.m)	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23
Y (m.s.n.m.)	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Δ (P. V.)	0.087	0.09	0.08	0.079	0.07	0.06	0.06	0.06	0.07	0.08	0.08	0.09
e° (T)	1.31	1.32	1.25	1.17	0.97	0.92	0.85	0.92	1.05	1.18	1.23	1.30
e (T max)	1.87	1.87	1.85	1.96	1.89	1.77	1.66	1.85	2.12	2.31	2.13	2.01
e (T min)	0.88	0.88	0.74	0.60	0.47	0.43	0.37	0.39	0.50	0.65	0.64	0.81
e (s)	1.37	1.37	1.29	1.28	1.18	1.10	1.02	1.12	1.31	1.48	1.39	1.41
e(s) - e(a)	0.493	0.49	0.56	0.68	0.71	0.67	0.65	0.73	0.81	0.83	0.74	0.60
φ (rad)	-0.289	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29
DIAS	31.000	28.00	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00
DIAS JULIANOS	31.000	59.00	90.00	120.00	151.00	181.00	212.00	243.00	273.00	304.00	334.00	365.00
δ	-0.309	-0.15	0.06	0.26	0.38	0.40	0.32	0.14	-0.07	-0.26	-0.38	-0.40
ωs (rad)	1.666	1.62	1.55	1.49	1.45	1.44	1.47	1.53	1.59	1.65	1.69	1.70
dr (MJm ² dia ⁻¹)	1.028	1.02	1.00	0.98	0.97	0.97	0.97	0.98	1.00	1.02	1.03	1.03
Ra (MJm ² dia ⁻¹)	40.72	38.83	34.89	30.22	26.60	25.89	28.34	32.81	37.08	39.93	41.09	41.33
Rs (MJm ² dia ⁻¹)	21.90	20.79	20.66	20.17	19.13	18.71	20.92	24.84	27.25	27.77	27.73	24.39
Rns (MJm ² dia ⁻¹)	16.86	16.01	15.91	15.53	14.73	14.41	16.11	19.13	20.99	21.39	21.36	18.78
Rso (MJm ² dia ⁻¹)	33.69	32.12	28.86	25.00	22.01	21.42	23.44	27.14	30.68	33.03	33.99	34.19
Rnl (MJm ² dia ⁻¹)	3.52	3.49	4.25	5.31	6.08	6.13	6.36	6.65	6.31	5.68	5.40	4.19
Rn (MJm ² dia ⁻¹)	13.35	12.52	11.66	10.22	8.65	8.27	9.76	12.48	14.68	15.70	15.96	14.59
G (MJm ² dia ⁻¹)	0.01	0.01	-0.11	-0.14	-0.38	-0.11	-0.17	0.15	0.28	0.24	0.08	0.13
Eto (MJm ² dia ⁻¹)	3.84	3.65	3.57	3.45	3.19	2.98	3.20	3.87	4.49	4.82	4.79	4.27
Eto mensual (mm/mes)	119.0	102.3	110.7	103.5	98.9	89.5	99.3	119.8	134.7	149.4	143.6	132.3
PROMEDIO										116.92	mm/mes	

Método Penman-Monteith Datos Mensuales
AÑO NORMAL 2013

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
T máxima (°C)	15.7	15.8	17.3	18	16.4	14.1	15.1	15.8	17.2	17.4	19.1	16.2
T mínima (°C)	3.8	3.8	2.8	-2.7	-2.4	-4.8	-4	-4.6	-3.3	0.6	2.2	4.3
T media (°C)	9.7	9.8	10.0	7.6	7.0	4.6	5.5	5.6	7.0	9.0	10.6	10.2
Altura (m.s.n.m.)	3863	3863	3863	3863	3863	3863	3863	3863	3863	3863	3863	3863
LATITUD	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57
LONGITUD	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68
V viento (m/s)	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
P (m.s.n.m)	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23
Y (m.s.n.m.)	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Δ (P. V.)	0.081	0.08	0.08	0.071	0.07	0.06	0.06	0.06	0.07	0.08	0.09	0.08
e° (T)	1.20	1.21	1.23	1.04	1.00	0.85	0.90	0.91	1.00	1.15	1.28	1.24
e (T max)	1.78	1.80	1.97	2.06	1.87	1.61	1.72	1.80	1.96	1.99	2.21	1.84
e (T min)	0.80	0.80	0.75	0.50	0.51	0.43	0.45	0.43	0.48	0.64	0.72	0.83
e (s)	1.29	1.30	1.36	1.28	1.19	1.02	1.09	1.11	1.22	1.31	1.46	1.34
e(s) - e(a)	0.491	0.50	0.61	0.78	0.68	0.59	0.63	0.68	0.74	0.67	0.75	0.51
φ (rad)	-0.289	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29
DIAS	31.000	28.00	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00
DIAS JULIANOS	31.000	59.00	90.00	120.00	151.00	181.00	212.00	243.00	273.00	304.00	334.00	365.00
δ	-0.309	-0.15	0.06	0.26	0.38	0.40	0.32	0.14	-0.07	-0.26	-0.38	-0.40
ωs (rad)	1.666	1.62	1.55	1.49	1.45	1.44	1.47	1.53	1.59	1.65	1.69	1.70
dr (MJm ² dia ⁻¹)	1.028	1.02	1.00	0.98	0.97	0.97	0.97	0.98	1.00	1.02	1.03	1.03
Ra (MJm ² dia ⁻¹)	40.72	38.83	34.89	30.22	26.60	25.89	28.34	32.81	37.08	39.93	41.09	41.33
Rs (MJm ² dia ⁻¹)	22.47	21.52	21.26	22.00	18.45	18.01	19.81	23.71	26.86	26.18	27.02	22.81
Rns (MJm ² dia ⁻¹)	17.31	16.57	16.37	16.94	14.21	13.87	15.26	18.25	20.69	20.16	20.81	17.56
Rso (MJm ² dia ⁻¹)	33.69	32.12	28.86	25.00	22.01	21.42	23.44	27.14	30.68	33.03	33.99	34.19
Rnl (MJm ² dia ⁻¹)	3.72	3.75	4.47	6.21	5.70	5.74	5.79	6.13	6.16	5.13	5.13	3.71
Rn (MJm ² dia ⁻¹)	13.58	12.82	11.90	10.73	8.51	8.13	9.47	12.12	14.53	15.03	15.68	13.85
G (MJm ² dia ⁻¹)	-0.07	0.01	0.03	-0.34	-0.08	-0.34	0.13	0.01	0.20	0.28	0.22	-0.06
Eto (MJm ² dia ⁻¹)	3.84	3.67	3.68	3.75	3.04	2.82	3.08	3.71	4.32	4.37	4.73	3.95
Eto mensual (mm/mes)	119.1	102.8	114.1	112.6	94.3	84.5	95.4	115.1	129.7	135.5	141.9	122.4
PROMEDIO										113.95	mm/mes	

Método Penman-Monteith Datos Mensuales
AÑO NORMAL 2014

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
T máxima (°C)	15.2	16	17	17	15.9	16	14.7	15.7	15.8	17	18.8	18.1
T mínima (°C)	4.5	3.8	2.2	0.4	-3.5	-6.1	-6.4	-3.6	1.6	1.1	1.4	3.7
T media (°C)	9.9	9.9	9.6	8.7	6.2	4.9	4.2	6.0	8.7	9.0	10.1	10.9
Altura (m.s.n.m.)	3863	3863	3863	3863	3863	3863	3863	3863	3863	3863	3863	3863
LATITUD	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57
LONGITUD	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68
V viento (m/s)	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
P (m.s.n.m)	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23
Y (m.s.n.m.)	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Δ (P. V.)	0.082	0.08	0.08	0.076	0.07	0.06	0.06	0.06	0.08	0.08	0.08	0.09
e° (T)	1.22	1.22	1.20	1.12	0.95	0.87	0.82	0.94	1.12	1.15	1.24	1.30
e (T max)	1.73	1.82	1.94	1.94	1.81	1.82	1.67	1.78	1.80	1.94	2.17	2.08
e (T min)	0.84	0.80	0.72	0.63	0.47	0.39	0.38	0.47	0.69	0.66	0.68	0.80
e (s)	1.28	1.31	1.33	1.28	1.14	1.10	1.03	1.13	1.24	1.30	1.42	1.44
e(s) - e(a)	0.443	0.51	0.61	0.65	0.67	0.72	0.65	0.66	0.55	0.64	0.75	0.64
φ (rad)	-0.289	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29
DIAS	31.000	28.00	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00
DIAS JULIANOS	31.000	59.00	90.00	120.00	151.00	181.00	212.00	243.00	273.00	304.00	334.00	365.00
δ	-0.309	-0.15	0.06	0.26	0.38	0.40	0.32	0.14	-0.07	-0.26	-0.38	-0.40
ωs (rad)	1.666	1.62	1.55	1.49	1.45	1.44	1.47	1.53	1.59	1.65	1.69	1.70
dr (MJm ² dia ⁻¹)	1.028	1.02	1.00	0.98	0.97	0.97	0.97	0.98	1.00	1.02	1.03	1.03
Ra (MJm ² dia ⁻¹)	40.72	38.83	34.89	30.22	26.60	25.89	28.34	32.81	37.08	39.93	41.09	41.33
Rs (MJm ² dia ⁻¹)	21.31	21.70	21.48	19.70	18.75	19.47	20.83	23.06	22.36	25.47	27.42	25.09
Rns (MJm ² dia ⁻¹)	16.41	16.71	16.54	15.17	14.44	14.99	16.04	17.76	17.22	19.61	21.11	19.32
Rso (MJm ² dia ⁻¹)	33.69	32.12	28.86	25.00	22.01	21.42	23.44	27.14	30.68	33.03	33.99	34.19
Rnl (MJm ² dia ⁻¹)	3.36	3.81	4.56	5.08	5.87	6.57	6.31	5.84	4.41	4.88	5.28	4.42
Rn (MJm ² dia ⁻¹)	13.05	12.90	11.97	10.08	8.57	8.42	9.73	11.91	12.80	14.73	15.84	14.90
G (MJm ² dia ⁻¹)	-0.14	0.00	-0.04	-0.13	-0.35	-0.18	-0.10	0.25	0.38	0.04	0.15	0.11
Eto (MJm ² dia ⁻¹)	3.66	3.72	3.69	3.36	3.08	3.11	3.18	3.59	3.65	4.29	4.75	4.41
Eto mensual (mm/mes)	113.6	104.1	114.5	100.8	95.5	93.2	98.6	111.4	109.4	133.1	142.6	136.8
PROMEDIO										112.79	mm/mes	

Método Penman-Monteith Datos Mensuales
AÑO NORMAL 2014

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
T máxima (°C)	15.2	16	17	17	15.9	16	14.7	15.7	15.8	17	18.8	18.1
T mínima (°C)	4.5	3.8	2.2	0.4	-3.5	-6.1	-6.4	-3.6	1.6	1.1	1.4	3.7
T media (°C)	9.9	9.9	9.6	8.7	6.2	4.9	4.2	6.0	8.7	9.0	10.1	10.9
Altura (m.s.n.m.)	3863	3863	3863	3863	3863	3863	3863	3863	3863	3863	3863	3863
LATITUD	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57	-16.57
LONGITUD	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68	-68.68
V viento (m/s)	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
P (m.s.n.m)	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23	63.23
Y (m.s.n.m.)	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Δ (P. V.)	0.082	0.08	0.08	0.076	0.07	0.06	0.06	0.06	0.08	0.08	0.08	0.09
e° (T)	1.22	1.22	1.20	1.12	0.95	0.87	0.82	0.94	1.12	1.15	1.24	1.30
e (T max)	1.73	1.82	1.94	1.94	1.81	1.82	1.67	1.78	1.80	1.94	2.17	2.08
e (T min)	0.84	0.80	0.72	0.63	0.47	0.39	0.38	0.47	0.69	0.66	0.68	0.80
e (s)	1.28	1.31	1.33	1.28	1.14	1.10	1.03	1.13	1.24	1.30	1.42	1.44
e(s) - e(a)	0.443	0.51	0.61	0.65	0.67	0.72	0.65	0.66	0.55	0.64	0.75	0.64
φ (rad)	-0.289	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29
DIAS	31.000	28.00	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00
DIAS JULIANOS	31.000	59.00	90.00	120.00	151.00	181.00	212.00	243.00	273.00	304.00	334.00	365.00
δ	-0.309	-0.15	0.06	0.26	0.38	0.40	0.32	0.14	-0.07	-0.26	-0.38	-0.40
ωs (rad)	1.666	1.62	1.55	1.49	1.45	1.44	1.47	1.53	1.59	1.65	1.69	1.70
dr (MJm ² dia ⁻¹)	1.028	1.02	1.00	0.98	0.97	0.97	0.97	0.98	1.00	1.02	1.03	1.03
Ra (MJm ² dia ⁻¹)	40.72	38.83	34.89	30.22	26.60	25.89	28.34	32.81	37.08	39.93	41.09	41.33
Rs (MJm ² dia ⁻¹)	21.31	21.70	21.48	19.70	18.75	19.47	20.83	23.06	22.36	25.47	27.42	25.09
Rns (MJm ² dia ⁻¹)	16.41	16.71	16.54	15.17	14.44	14.99	16.04	17.76	17.22	19.61	21.11	19.32
Rso (MJm ² dia ⁻¹)	33.69	32.12	28.86	25.00	22.01	21.42	23.44	27.14	30.68	33.03	33.99	34.19
Rnl (MJm ² dia ⁻¹)	3.36	3.81	4.56	5.08	5.87	6.57	6.31	5.84	4.41	4.88	5.28	4.42
Rn (MJm ² dia ⁻¹)	13.05	12.90	11.97	10.08	8.57	8.42	9.73	11.91	12.80	14.73	15.84	14.90
G (MJm ² dia ⁻¹)	-0.14	0.00	-0.04	-0.13	-0.35	-0.18	-0.10	0.25	0.38	0.04	0.15	0.11
Eto (MJm ² dia ⁻¹)	3.66	3.72	3.69	3.36	3.08	3.11	3.18	3.59	3.65	4.29	4.75	4.41
Eto mensual (mm/mes)	113.6	104.1	114.5	100.8	95.5	93.2	98.6	111.4	109.4	133.1	142.6	136.8
PROMEDIO										112.79	mm/mes	

Método Penman-Monteith Datos Mensuales													
AÑO HÚMEDO 1975													
MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
P total (mm/mes)	246.3	165.0	44.3	5.3	47.7	13.8	3.0	14.5	54.9	40.9	25.3	134.8	795.80
ETP (mm/mes)	116.66	96.03	110.04	105.32	88.60	81.40	99.16	114.60	112.98	133.31	141.65	123.08	1322.83
VRA (mm/mes)	129.6	69.0	-65.7	-100.0	-40.9	-67.6	-96.2	-100.1	-58.1	-92.4	-116.3	11.7	
R (mm/mes)	100.0	100.0	34.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.7	
VR (mm/mes)	88.3	0.0	-65.7	-34.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.7	
ETR (mm/mes)	116.7	96.0	110.0	39.6	47.7	13.8	3.0	14.5	54.9	40.9	25.3	123.1	
Deficit (mm/mes)	0.0	0.0	0.0	-65.8	-40.9	-67.6	-96.2	-100.1	-58.1	-92.4	-116.3	0.0	-637.36
Excedencia (mm/mes)	41.4	69.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	110.32
Recarga (mm/mes)	20.7	44.8	22.4	11.2	5.6	2.8	1.4	0.7	0.4	0.2	0.1	0.0	
Verificación											1433		1433
Coeficiente de escorrentía											C =		0.14

Método Penman-Monteith Datos Mensuales													
Año Húmedo (1978)													
MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
P total (mm/mes)	218.5	115.8	118.6	26.2	0.0	0.0	0.0	7.9	22.0	6.8	140.9	131.1	787.80
ETP (mm/mes)	120.1	113.6	115.5	102.8	103.4	89.9	100.8	111.6	124.8	148.3	127.7	122.3	1380.68
VRA (mm/mes)	98.4	2.2	3.1	-76.6	-103.4	-89.9	-100.8	-103.7	-102.8	-141.5	13.2	8.8	
R (mm/mes)	100.0	100.0	100.0	23.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.2	22.0	
VR (mm/mes)	78.0	0.0	0.0	-76.6	-23.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.2	8.8	
ETR (mm/mes)	120.1	113.6	115.5	102.8	23.4	0.0	0.0	7.9	22.0	6.8	127.7	122.3	
Deficit (mm/mes)	0.0	0.0	0.0	0.0	-80.0	-89.9	-100.8	-103.7	-102.8	-141.5	0.0	0.0	-618.68
Excedencia (mm/mes)	20.5	2.2	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	25.79
Recarga (mm/mes)	10.2	6.2	4.7	2.3	1.2	0.6	0.3	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	
Verificación											1406		1406
Coeficiente de escorrentía											C =		0.03

Método Penman-Monteith Datos Mensuales

AÑO HÚMEDO 1979

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
P total (mm/mes)	206.4	56.7	170.5	49.9	2.3	0.0	37.8	1.9	14.3	56.2	50.4	205.7	852.10
ETP (mm/mes)	109.8	106.7	105.7	96.0	98.7	88.2	95.9	120.1	130.9	132.8	139.8	131.4	1356.02
VRA (mm/mes)	96.6	-50.0	64.8	-46.1	-96.4	-88.2	-58.1	-118.2	-116.6	-76.6	-89.4	74.3	
R (mm/mes)	100.0	50.0	100.0	53.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	74.3	
VR (mm/mes)	25.7	-50.0	50.0	-46.1	-53.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	74.3	
ETR (mm/mes)	109.8	106.7	105.7	96.0	56.2	0.0	37.8	1.9	14.3	56.2	50.4	131.4	
Deficit (mm/mes)	0.0	0.0	0.0	0.0	-42.5	-88.2	-58.1	-118.2	-116.6	-76.6	-89.4	0.0	-589.61
Excedencia (mm/mes)	70.8	0.0	14.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	85.69
Recarga (mm/mes)	35.4	17.7	16.3	8.1	4.1	2.0	1.0	0.5	0.3	0.1	0.1	0.0	
Verificación											1442		1442
Coeficiente de escorrentía											C =		0.10

Método Penman-Monteith Datos Mensuales

AÑO HÚMEDO 1981

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
P total (mm/mes)	130.9	143.9	98.8	95.4	7.8	0.0	0.0	42.2	21.6	84.9	46.2	99.9	771.60
ETP (mm/mes)	122.9	105.3	110.7	103.5	101.0	95.4	106.9	112.3	123.2	130.3	130.3	134.1	1375.89
VRA (mm/mes)	8.0	38.6	-11.9	-8.1	-93.2	-95.4	-106.9	-70.1	-101.6	-45.4	-84.1	-34.2	
R (mm/mes)	8.0	38.6	26.7	18.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
VR (mm/mes)	8.0	30.6	-11.9	-8.1	-18.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
ETR (mm/mes)	122.9	105.3	110.7	103.5	26.4	0.0	0.0	42.2	21.6	84.9	46.2	99.9	
Deficit (mm/mes)	0.0	0.0	0.0	0.0	-74.6	-95.4	-106.9	-70.1	-101.6	-45.4	-84.1	-34.2	-612.29
Excedencia (mm/mes)	0.0	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.00
Recarga (mm/mes)	0.0	4.0	2.0	1.0	0.5	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	
Verificación											1384		1384
Coeficiente de escorrentía											C =		0.01

Método Penman-Monteith Datos Mensuales

AÑO HÚMEDO 1985

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
P total (mm/mes)	170.2	97.0	95.5	51.6	17.8	18.6	0.3	17.2	60.9	17.0	155.5	178.3	879.90
ETP (mm/mes)	115.9	93.7	108.6	93.5	92.4	81.5	98.5	118.2	111.7	150.2	112.7	116.3	1293.20
VRA (mm/mes)	54.3	3.3	-13.1	-41.9	-74.6	-62.9	-98.2	-101.0	-50.8	-133.2	42.8	62.0	
R (mm/mes)	100.0	100.0	86.9	45.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	42.8	100.0	
VR (mm/mes)	0.0	0.0	-13.1	-41.9	-45.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	42.8	57.2	
ETR (mm/mes)	115.9	93.7	108.6	93.5	62.8	18.6	0.3	17.2	60.9	17.0	112.7	116.3	
Deficit (mm/mes)	0.0	0.0	0.0	0.0	-29.5	-62.9	-98.2	-101.0	-50.8	-133.2	0.0	0.0	-475.57
Excedencia (mm/mes)	54.3	3.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.7	62.27
Recarga (mm/mes)	27.1	15.2	7.6	3.8	1.9	0.9	0.5	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0	
Verificación											1355		1355
Coeficiente de escorrentía											C =		0.07

Método Penman-Monteith Datos Mensuales

AÑO SECO 1999

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
P total (mm/mes)	78.8	80.9	34.4	18.9	3.0	0.0	0.7	0.0	54.2	38.8	22.9	17.1	349.70
ETP (mm/mes)	125.3	94.6	95.1	91.4	94.6	90.7	96.0	116.2	124.5	126.7	141.4	143.6	1340.14
VRA (mm/mes)	-46.5	-13.7	-60.7	-72.5	-91.6	-90.7	-95.3	-116.2	-70.3	-87.9	-118.5	-126.5	
R (mm/mes)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
VR (mm/mes)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
ETR (mm/mes)	78.8	80.9	34.4	18.9	3.0	0.0	0.7	0.0	54.2	38.8	22.9	17.1	
Deficit (mm/mes)	-46.5	-13.7	-60.7	-72.5	-91.6	-90.7	-95.3	-116.2	-70.3	-87.9	-118.5	-126.5	-990.44
Excedencia (mm/mes)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00
Recarga (mm/mes)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Verificación											1340		1340
Coeficiente de escorrentía											C =		0.00

Método Penman-Monteith Datos Mensuales													
AÑO SECO 2000													
MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
P total (mm/mes)	100.2	78.0	49.9	0.0	0.0	30.9	0.0	5.3	0.0	55.8	5.0	57.4	382.50
ETP (mm/mes)	124.09	102.70	104.67	105.49	98.67	88.27	97.11	108.86	135.74	133.68	153.66	137.89	1390.82
VRA (mm/mes)	-23.9	-24.7	-54.8	-105.5	-98.7	-57.4	-97.1	-103.6	-135.7	-77.9	-148.7	-80.5	
R (mm/mes)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
VR (mm/mes)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
ETR (mm/mes)	100.2	78.0	49.9	0.0	0.0	30.9	0.0	5.3	0.0	55.8	5.0	57.4	
Deficit (mm/mes)	-23.9	-24.7	-54.8	-105.5	-98.7	-57.4	-97.1	-103.6	-135.7	-77.9	-148.7	-80.5	-1008.32
Excedencia (mm/mes)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00
Recarga (mm/mes)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Verificación											1391		1391
Coeficiente de escorrentía											C =		0.00
Método Penman-Monteith Datos Mensuales													
AÑO SECO 2007													
MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
P total (mm/mes)	50.7	38.4	90.3	29.9	1.2	0.0	29.1	0.0	32.1	7.3	43.6	56.4	379.00
ETP (mm/mes)	127.70	109.80	107.59	98.61	96.96	94.97	95.75	116.23	110.49	142.23	138.69	132.57	1371.58
VRA (mm/mes)	-77.0	-71.4	-17.3	-68.7	-95.8	-95.0	-66.6	-116.2	-78.4	-134.9	-95.1	-76.2	
R (mm/mes)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
VR (mm/mes)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
ETR (mm/mes)	50.7	38.4	90.3	29.9	1.2	0.0	29.1	0.0	32.1	7.3	43.6	56.4	
Deficit (mm/mes)	-77.0	-71.4	-17.3	-68.7	-95.8	-95.0	-66.6	-116.2	-78.4	-134.9	-95.1	-76.2	-992.58
Excedencia (mm/mes)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00
Recarga (mm/mes)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Verificación											1372		1372
Coeficiente de escorrentía											C =		0.00

Método Penman-Monteith Datos Mensuales

AÑO SECO 2008

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
P total (mm/mes)	113.6	45.8	51.4	8.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.1	25.4	82.6	342.10
ETP (mm/mes)	108.79	104.98	111.25	106.55	101.26	91.73	104.15	120.60	131.80	138.48	144.04	127.66	1391.31
VRA (mm/mes)	4.8	-59.2	-59.9	-98.3	-101.3	-91.7	-104.2	-120.6	-131.8	-123.4	-118.6	-45.1	
R (mm/mes)	4.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
VR (mm/mes)	4.8	-4.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
ETR (mm/mes)	108.8	50.6	51.4	8.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.1	25.4	82.6	
Deficit (mm/mes)	0.0	-54.4	-59.9	-98.3	-101.3	-91.7	-104.2	-120.6	-131.8	-123.4	-118.6	-45.1	-1049.21
Excedencia (mm/mes)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00
Recarga (mm/mes)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Verificación											1391		1391
Coeficiente de escorrentía											C =		0.00

Método Penman-Monteith Datos Mensuales

AÑO SECO 2009

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
P total (mm/mes)	63.5	49.5	38.4	14.9	0.0	0.0	9.9	0.0	1.4	13.8	42.8	73.0	307.20
ETP (mm/mes)	123.66	106.91	108.97	102.90	100.07	97.91	96.10	122.09	130.89	142.47	134.38	130.58	1396.91
VRA (mm/mes)	-60.2	-57.4	-70.6	-88.0	-100.1	-97.9	-86.2	-122.1	-129.5	-128.7	-91.6	-57.6	
R (mm/mes)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
VR (mm/mes)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
ETR (mm/mes)	63.5	49.5	38.4	14.9	0.0	0.0	9.9	0.0	1.4	13.8	42.8	73.0	
Deficit (mm/mes)	-60.2	-57.4	-70.6	-88.0	-100.1	-97.9	-86.2	-122.1	-129.5	-128.7	-91.6	-57.6	-1089.71
Excedencia (mm/mes)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00
Recarga (mm/mes)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Verificación											1397		1397
Coeficiente de escorrentía											C =		0.00

Método Penman-Monteith Datos Mensuales													
AÑO SECO 2010													
MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
P total (mm/mes)	98.6	104.6	16.4	18.3	43.3	0.0	0.0	7.5	5.6	41.8	23.7	41.2	401.00
ETP (mm/mes)	119.00	102.28	110.71	103.51	98.93	89.46	99.33	119.83	134.69	149.42	143.57	132.30	1403.03
VRA (mm/mes)	-20.4	2.3	-94.3	-85.2	-55.6	-89.5	-99.3	-112.3	-129.1	-107.6	-119.9	-91.1	
R (mm/mes)	0.0	2.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
VR (mm/mes)	0.0	2.3	-2.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
ETR (mm/mes)	98.6	102.3	18.7	18.3	43.3	0.0	0.0	7.5	5.6	41.8	23.7	41.2	
Deficit (mm/mes)	-20.4	0.0	-92.0	-85.2	-55.6	-89.5	-99.3	-112.3	-129.1	-107.6	-119.9	-91.1	-1002.03
Excedencia (mm/mes)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00
Recarga (mm/mes)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Verificación											1403		1403
Coeficiente de escorrentía											C =		0.00
Método Penman-Monteith Datos Mensuales													
AÑO NORMAL 2012													
MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
P total (mm/mes)	113.2	105.0	132.7	41.2	0.0	0.0	3.7	0.0	12.6	8.9	28.8	101.2	547.30
ETP (mm/mes)	114.23	96.94	103.35	91.28	96.70	89.72	99.19	120.15	129.18	143.00	137.03	118.14	1338.90
VRA (mm/mes)	-1.0	8.1	29.4	-50.1	-96.7	-89.7	-95.5	-120.2	-116.6	-134.1	-108.2	-16.9	
R (mm/mes)	0.0	8.1	37.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
VR (mm/mes)	0.0	8.1	29.4	-37.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
ETR (mm/mes)	113.2	96.9	103.3	78.6	0.0	0.0	3.7	0.0	12.6	8.9	28.8	101.2	
Deficit (mm/mes)	-1.0	0.0	0.0	-12.7	-96.7	-89.7	-95.5	-120.2	-116.6	-134.1	-108.2	-16.9	-791.60
Excedencia (mm/mes)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00
Recarga (mm/mes)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Verificación											1339		1339
Coeficiente de escorrentía											C =		0.00

Método Penman-Monteith Datos Mensuales

AÑO NORMAL 2013

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
P total (mm/mes)	127.7	92.7	38.4	6.7	36.6	41.8	5.5	18.4	0.6	20.7	9.8	130.4	529.30
ETP (mm/mes)	119.06	102.80	114.08	112.62	94.27	84.49	95.44	115.14	129.71	135.51	141.88	122.40	1367.41
VRA (mm/mes)	8.6	-10.1	-75.7	-105.9	-57.7	-42.7	-89.9	-96.7	-129.1	-114.8	-132.1	8.0	
R (mm/mes)	16.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.0	
VR (mm/mes)	8.6	-16.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.0	
ETR (mm/mes)	119.1	109.3	38.4	6.7	36.6	41.8	5.5	18.4	0.6	20.7	9.8	122.4	
Deficit (mm/mes)	0.0	6.5	-75.7	-105.9	-57.7	-42.7	-89.9	-96.7	-129.1	-114.8	-132.1	0.0	-838.11
Excedencia (mm/mes)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00
Recarga (mm/mes)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
					Verificación						1367		1367
					Coeficiente de escorrentía						C =		0.00

Método Penman-Monteith Datos Mensuales

AÑO NORMAL 2014

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
P total (mm/mes)	122.9	59.3	63.0	28.9	28.3	0.0	0.0	25.6	46.0	26.6	18.7	35.8	455.10
ETP (mm/mes)	113.60	104.08	114.47	100.77	95.48	93.18	98.61	111.40	109.38	133.06	142.64	136.76	1353.43
VRA (mm/mes)	9.3	-44.8	-51.5	-71.9	-67.2	-93.2	-98.6	-85.8	-63.4	-106.5	-123.9	-101.0	
R (mm/mes)	9.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
VR (mm/mes)	9.3	-9.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
ETR (mm/mes)	113.6	68.6	63.0	28.9	28.3	0.0	0.0	25.6	46.0	26.6	18.7	35.8	
Deficit (mm/mes)	0.0	-35.5	-51.5	-71.9	-67.2	-93.2	-98.6	-85.8	-63.4	-106.5	-123.9	-101.0	-898.33
Excedencia (mm/mes)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00
Recarga (mm/mes)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
					Verificación						1353		1353
					Coeficiente de escorrentía						C =		0.00

ANEXO E

**Cálculo de la Escorrentía mediante
el Balance Hídrico para años
secos, húmedos y normales**



ANEXO F: CÁLCULO DE LA ESCORRENTIA MEDIANTE EL BALANCE HIDRICO PARA AÑOS SECOS HUMEDOS Y NORMALES

AÑO HÚMEDO 1975													
AREA (Km ²)	9.31												
AREA (m ²)	9E+06												
MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
EXCEDENCIAS (mm/mes)	162.0	110.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	272.2
EXCEDENCIAS (m/mes)	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3
Q (hm ³ /mes)	1.5	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5
c	0.34												
MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
P total (mm/mes)	246.3	165.0	44.3	5.3	47.7	13.8	3.0	14.5	54.9	40.9	25.3	134.8	795.8
P total (m/mes)	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.8
Q (hm ³ /mes)	0.8	0.5	0.1	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.2	0.1	0.1	0.4	2.5

AÑO HÚMEDO 1978													
AREA (Km ²)	708.00												
AREA (m ²)	7E+08												
MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
EXCEDENCIAS (mm/mes)	154.0	57.8	58.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	46.7	317.0
EXCEDENCIAS (m/mes)	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3
Q (hm ³ /mes)	1.43	0.54	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	3.0
c	0.40												
MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
P total (mm/mes)	218.5	115.8	118.6	26.2	0.0	0.0	0.0	7.9	22.0	6.8	140.9	131.1	787.8
P total (m/mes)	0.22	0.12	0.12	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.14	0.13	0.79
Q (hm ³ /mes)	0.70	0.37	0.38	0.08	0.00	0.00	0.00	0.03	0.07	0.02	0.45	0.42	2.51

AÑO HÚMEDO 1979													
AREA (Km ²)	9.31												
AREA (m ²)	9E+06												
MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
EXCEDENCIAS (mm/mes)	144.6	2.0	113.4	4.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	39.7	304.0
EXCEDENCIAS (m/mes)	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3
Q (hm ³ /mes)	1.35	0.02	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	2.8
c	0.36												
MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
P total (mm/mes)	206.4	56.7	170.5	49.9	2.3	0.0	37.8	1.9	14.3	56.2	50.4	205.7	852.1
P total (m/mes)	0.2	0.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.9
Q (hm ³ /mes)	0.69	0.19	0.57	0.17	0.01	0.00	0.13	0.01	0.05	0.19	0.17	0.68	2.83

AÑO HÚMEDO 1981													
AREA (Km ²)	9.31												
AREA (m ²)	9E+06												
MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
EXCEDENCIAS (mm/mes)	29.2	87.4	40.8	52.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	210.3
EXCEDENCIAS (m/mes)	0.03	0.09	0.04	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.2
Q (hm ³ /mes)	0.27	0.81	0.4	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0
c	0.27												
MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
P total (mm/mes)	130.9	143.9	98.8	95.4	7.8	0.0	0.0	42.2	21.6	84.9	46.2	99.9	771.6
P total (m/mes)	0.13	0.14	0.10	0.10	0.01	0.00	0.00	0.04	0.02	0.08	0.05	0.10	0.77
Q (hm ³ /mes)	0.33	0.37	0.25	0.24	0.02	0.00	0.00	0.11	0.05	0.22	0.12	0.25	1.96

AÑO HÚMEDO 1985

AREA (Km ²)	9.31													
AREA (m ²)	9E+06													
MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL	
EXCEDENCIAS (mm/mes)	109.5	44.8	38.9	2.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.1	116.2	318.4	
EXCEDENCIAS (m/mes)	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	
Q (hm ³ /mes)	1.02	0.42	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	1.1	3.0	
c	0.36													
MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL	
P total (mm/mes)	170.2	97.0	95.5	51.6	17.8	18.6	0.3	17.2	60.9	17.0	155.5	178.3	879.9	
P total (m/mes)	0.2	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.2	0.2	0.9	
Q (hm ³ /mes)	0.57	0.33	0.32	0.17	0.06	0.06	0.00	0.06	0.21	0.06	0.52	0.60	2.96	

AÑO SECO 1999

[illegible]

AÑO SECO 2000

[illegible]

AÑO SECO 2007

[illegible]

AÑO SECO 2008													
AREA (Km ²)	9.31												
AREA (m ²)	9E+06												
MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
EXCEDENCIAS (mm/mes)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
EXCEDENCIAS (m/mes)	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Q (hm ³ /mes)	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
c	0.00												
MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
P total (mm/mes)	113.6	45.8	51.4	8.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.1	25.4	82.6	342.1
P total (m/mes)	0.11	0.05	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.08	0.34
Q (hm ³ /mes)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

AÑO SECO 2009													
AREA (Km ²)	9.31												
AREA (m ²)	9E+06												
MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
EXCEDENCIAS (mm/mes)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
EXCEDENCIAS (m/mes)	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Q (hm ³ /mes)	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
c	0.00												
MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
P total (mm/mes)	63.5	49.5	38.4	14.9	0.0	0.0	9.9	0.0	1.4	13.8	42.8	73.0	307.2
P total (m/mes)	0.06	0.05	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.07	0.31
Q (hm ³ /mes)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

AÑO SECO 2010													
AREA (Km ²)	9.31												
AREA (m ²)	9E+06												
MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
EXCEDENCIAS (mm/mes)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
EXCEDENCIAS (m/mes)	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Q (hm ³ /mes)	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
c	0.00												
MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
P total (mm/mes)	98.6	104.6	16.4	18.3	43.3	0.0	0.0	7.5	5.6	41.8	23.7	41.2	401.0
P total (m/mes)	0.10	0.10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.04	0.40
Q (hm ³ /mes)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

AÑO NORMAL 2012													
AREA (Km ²)	9.31												
AREA (m ²)	9E+06												
MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
EXCEDENCIAS (mm/mes)	0.0	41.1	78.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	119.3
EXCEDENCIAS (m/mes)	0.00	0.04	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
Q (hm ³ /mes)	0.00	0.38	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1
c	0.22												
MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
P total (mm/mes)	113.2	105.0	132.7	41.2	0.0	0.0	3.7	0.0	12.6	8.9	28.8	101.2	547.3
P total (m/mes)	0.11	0.11	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.10	0.55
Q (hm ³ /mes)	0.23	0.21	0.27	0.08	0.00	0.00	0.01	0.00	0.03	0.02	0.06	0.21	1.11

AÑO NORMAL 2013

AREA (Km²)	9.31													
AREA (m²)	9E+06													
MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL	
EXCEDENCIAS (mm/mes)	32.9	38.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	71.6	
EXCEDENCIAS (m/mes)	0.03	0.04	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	
Q (hm³/mes)	0.31	0.36	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	
c	0.14													
MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL	
P total (mm/mes)	127.7	92.7	38.4	6.7	36.6	41.8	5.5	18.4	0.6	20.7	9.8	130.4	529.3	
P total (m/mes)	0.13	0.09	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.13	0.53	
Q (hm³/mes)	0.16	0.12	0.05	0.01	0.05	0.05	0.01	0.02	0.00	0.03	0.01	0.16	0.67	

AÑO NORMAL 2014

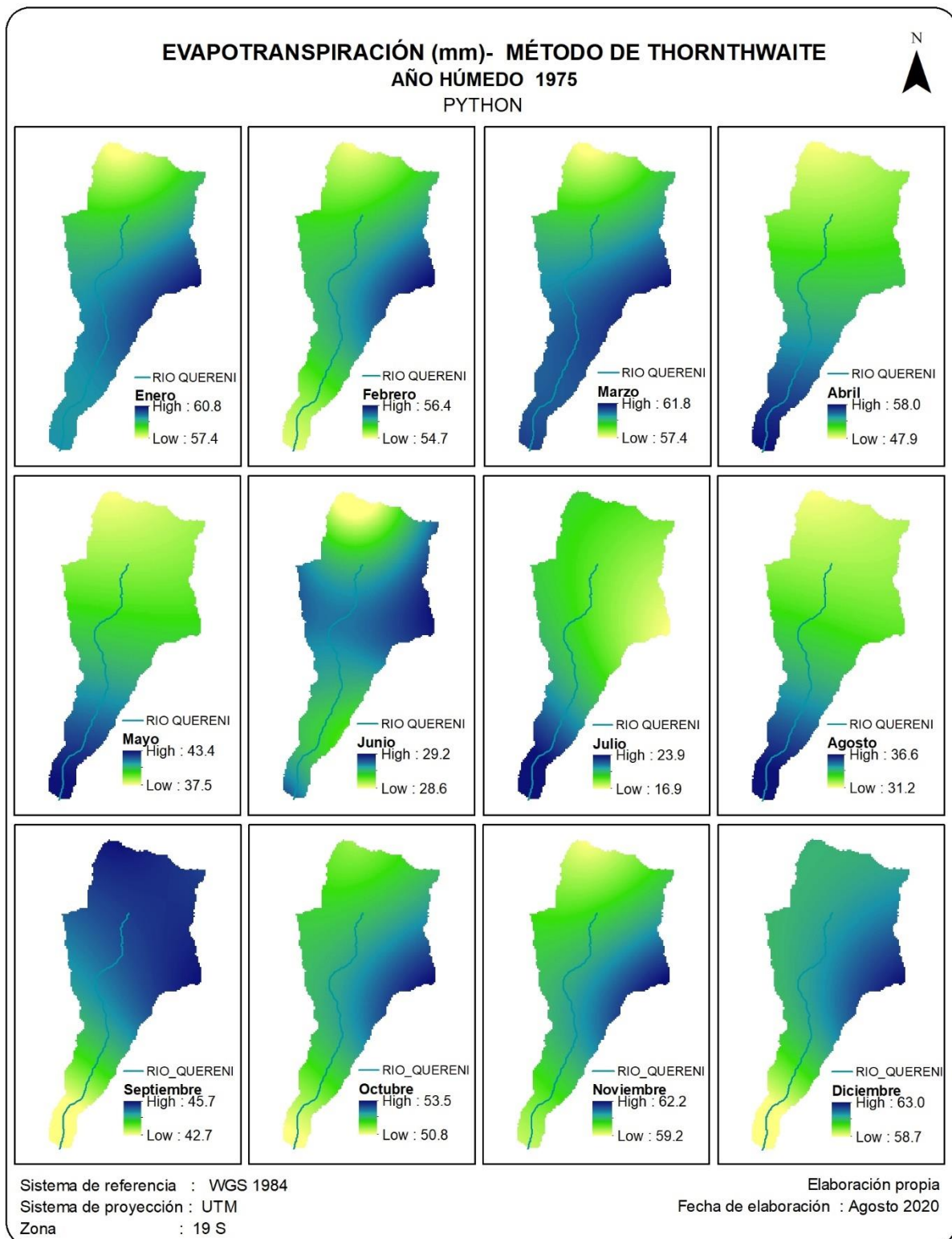
[illegible]

ANEXO F

Resultados del cálculo mediante Python



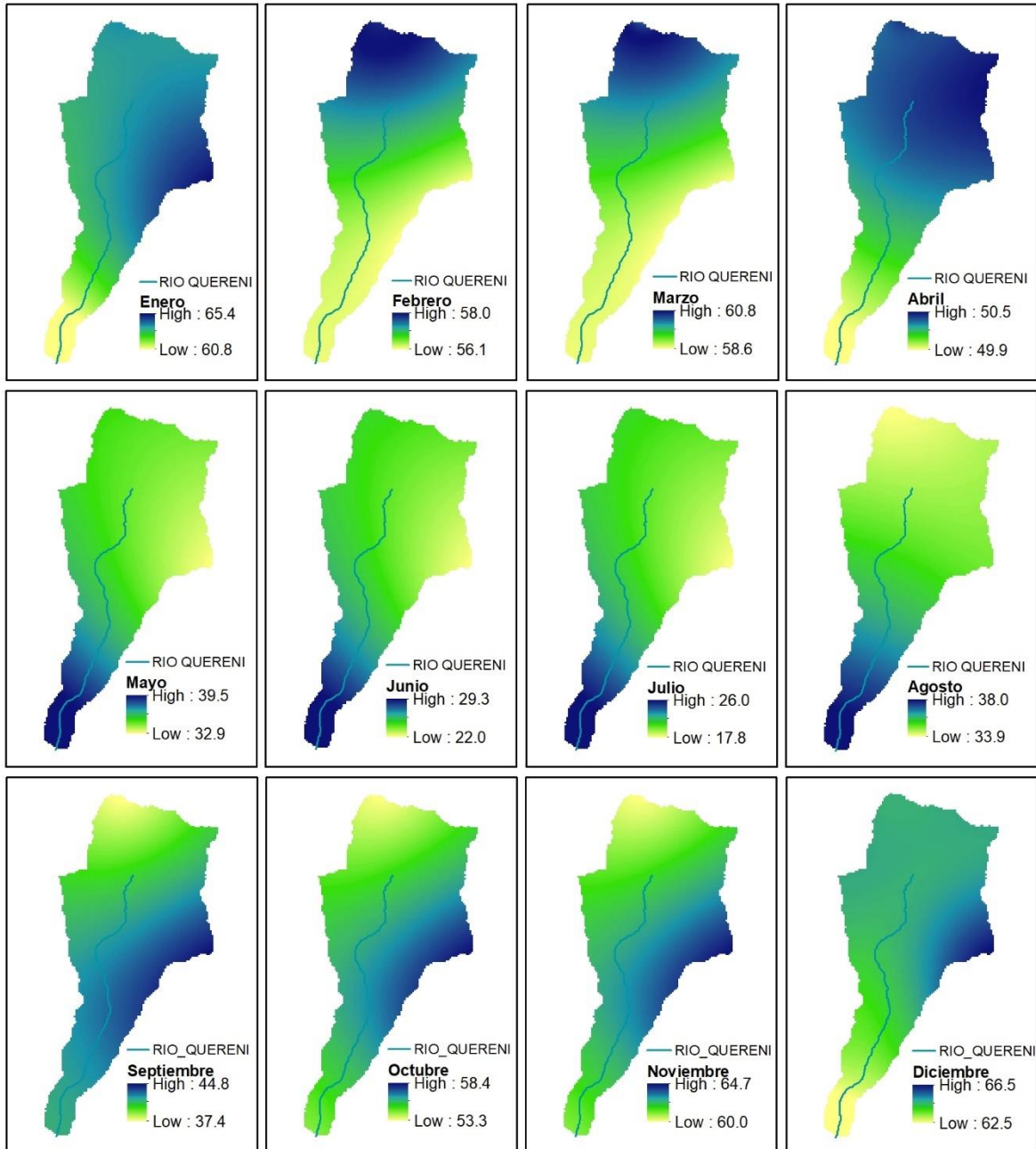
ANEXO F: RESULTADOS DEL CÁLCULO MEDIANTE PYTHON



EVAPOTRANSPIRACIÓN (mm)- MÉTODO DE THORNTHWAITE

AÑO HÚMEDO 1978

PYTHON



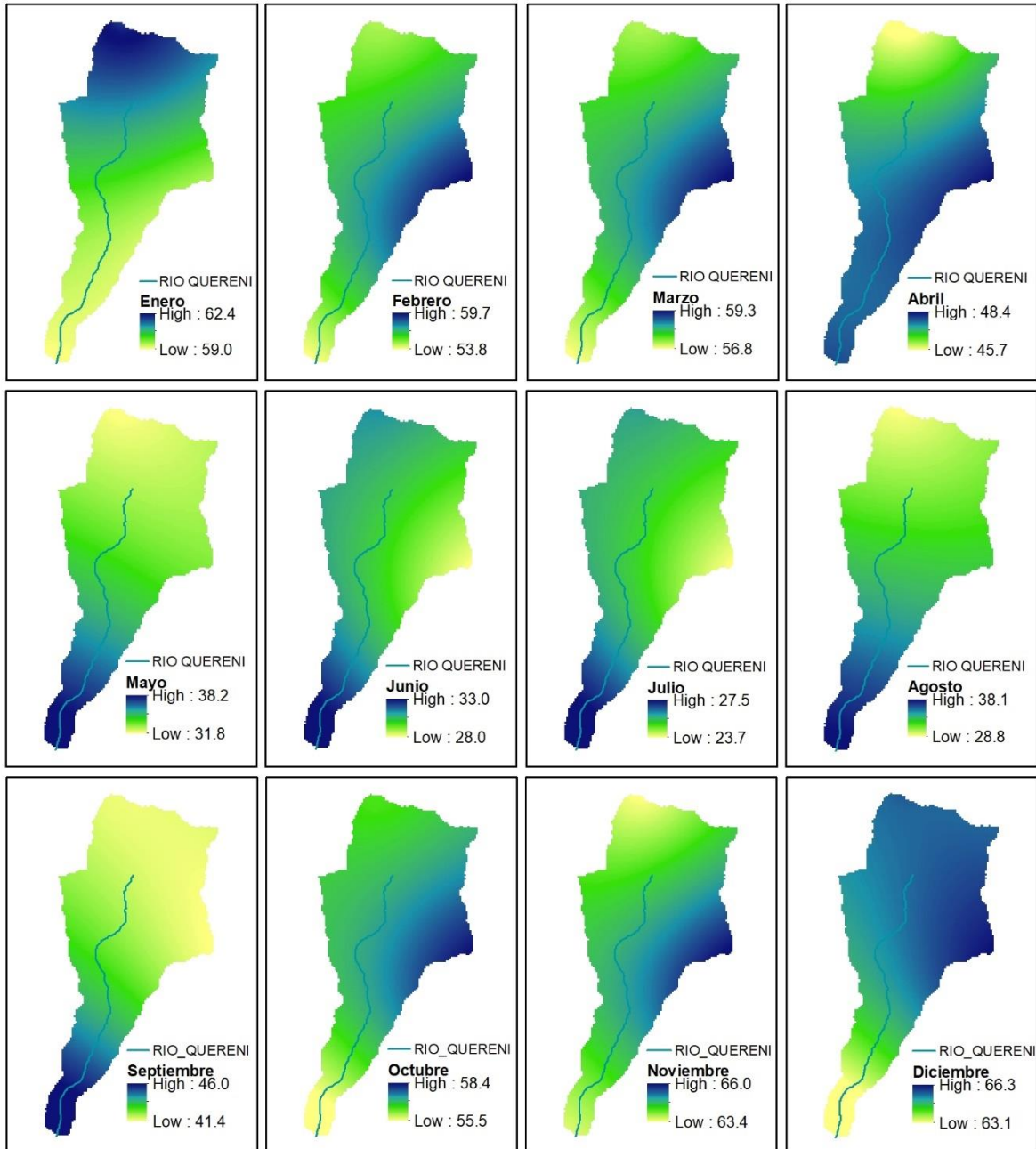
Sistema de referencia : WGS 1984
 Sistema de proyección : UTM
 Zona : 19 S

Elaboración propia
 Fecha de elaboración : Agosto 2020

EVAPOTRANSPIRACIÓN (mm)- MÉTODO DE THORNTHWAITE

AÑO HÚMEDO 1979

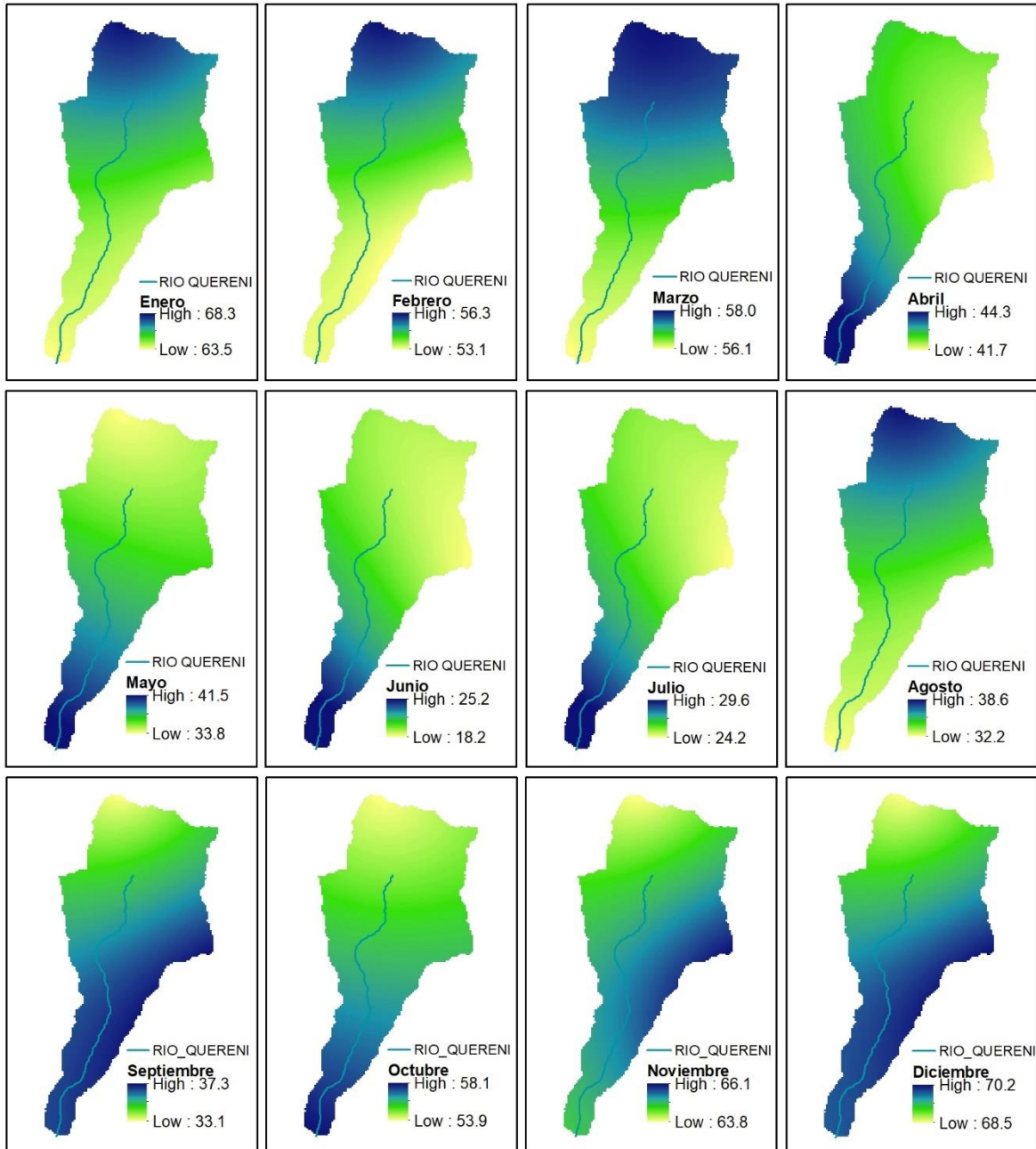
PYTHON



Sistema de referencia : WGS 1984
 Sistema de proyección : UTM
 Zona : 19 S

Elaboración propia
 Fecha de elaboración : Agosto 2020

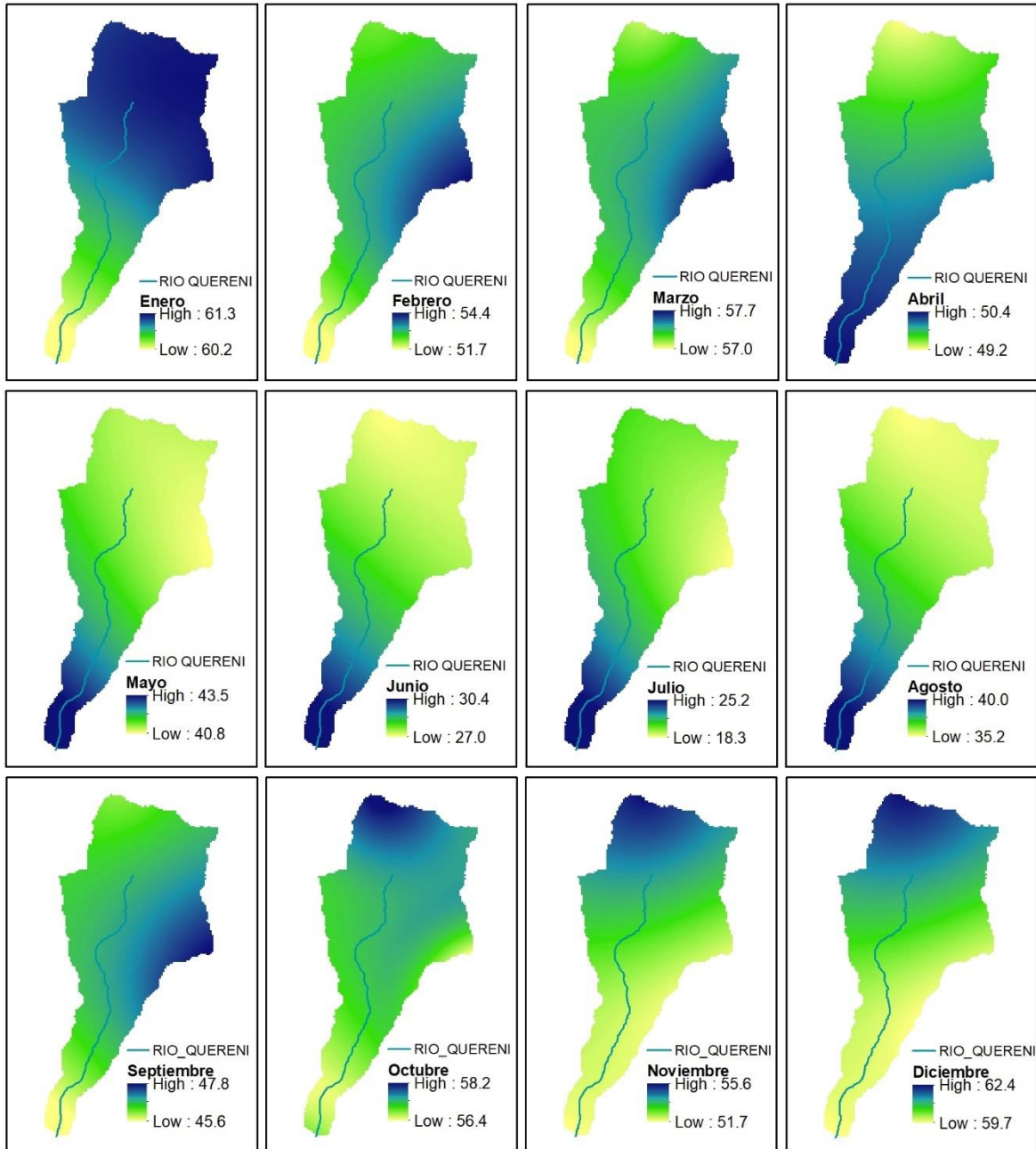
EVAPOTRANSPIRACIÓN (mm)- MÉTODO DE THORNTHWAITE
AÑO HÚMEDO 1981
 PYTHON



Sistema de referencia : WGS 1984
 Sistema de proyección : UTM
 Zona : 19 S

Elaboración propia
 Fecha de elaboración : Agosto 2020

EVAPOTRANSPIRACIÓN (mm)- MÉTODO DE THORNTHWAITE
AÑO HÚMEDO 1985
 PYTHON



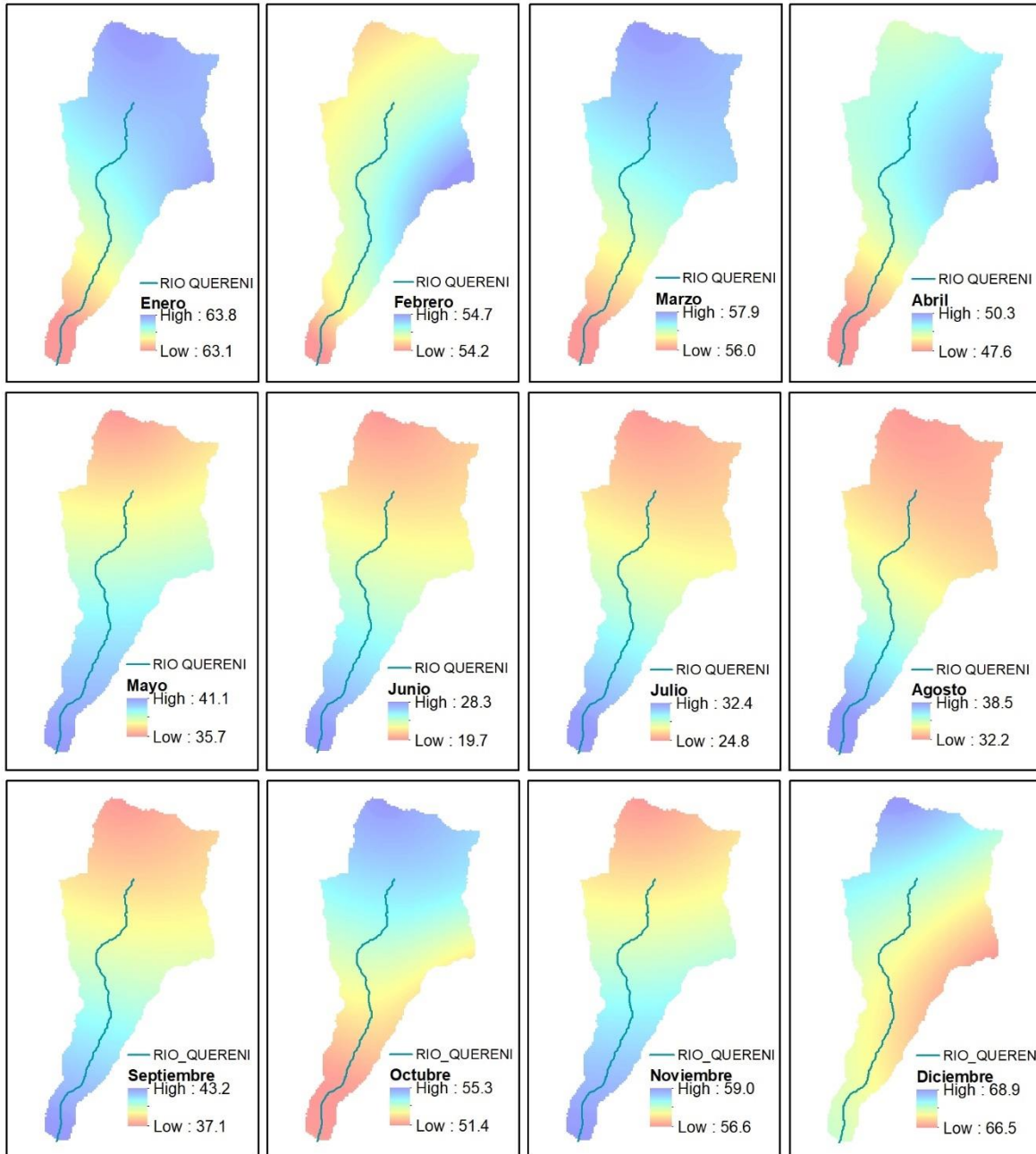
Sistema de referencia : WGS 1984
 Sistema de proyección : UTM
 Zona : 19 S

Elaboración propia
 Fecha de elaboración : Agosto 2020

EVAPOTRANSPIRACIÓN (mm)- MÉTODO DE THORNTHWAITE

AÑO SECO 1999

PYTHON



Sistema de referencia : WGS 1984

Sistema de proyección : UTM

Zona : 19 S

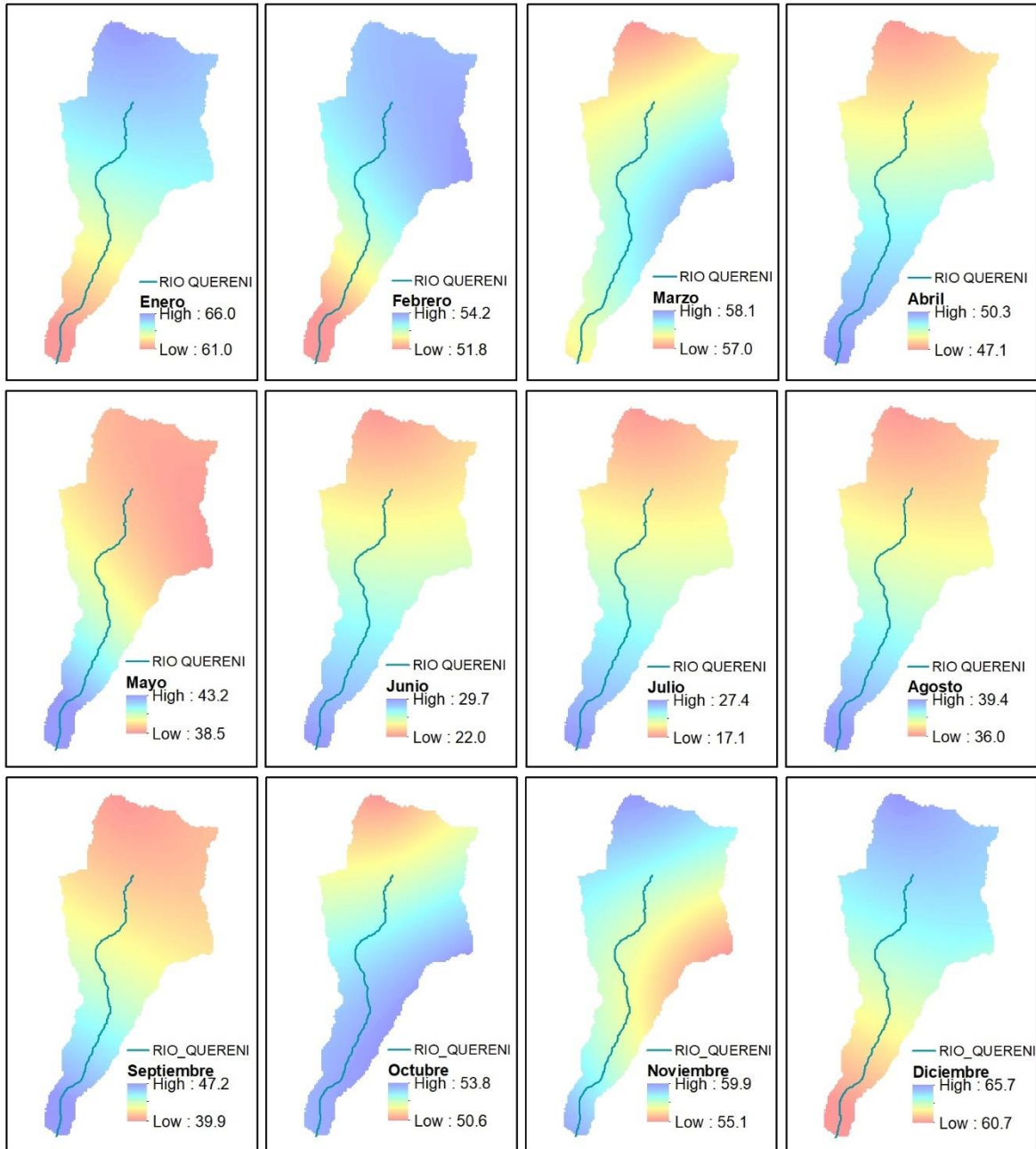
Elaboración propia

Fecha de elaboración : Agosto 2020

EVAPOTRANSPIRACIÓN (mm)- MÉTODO DE THORNTHWAITE

AÑO SECO 2000

PYTHON



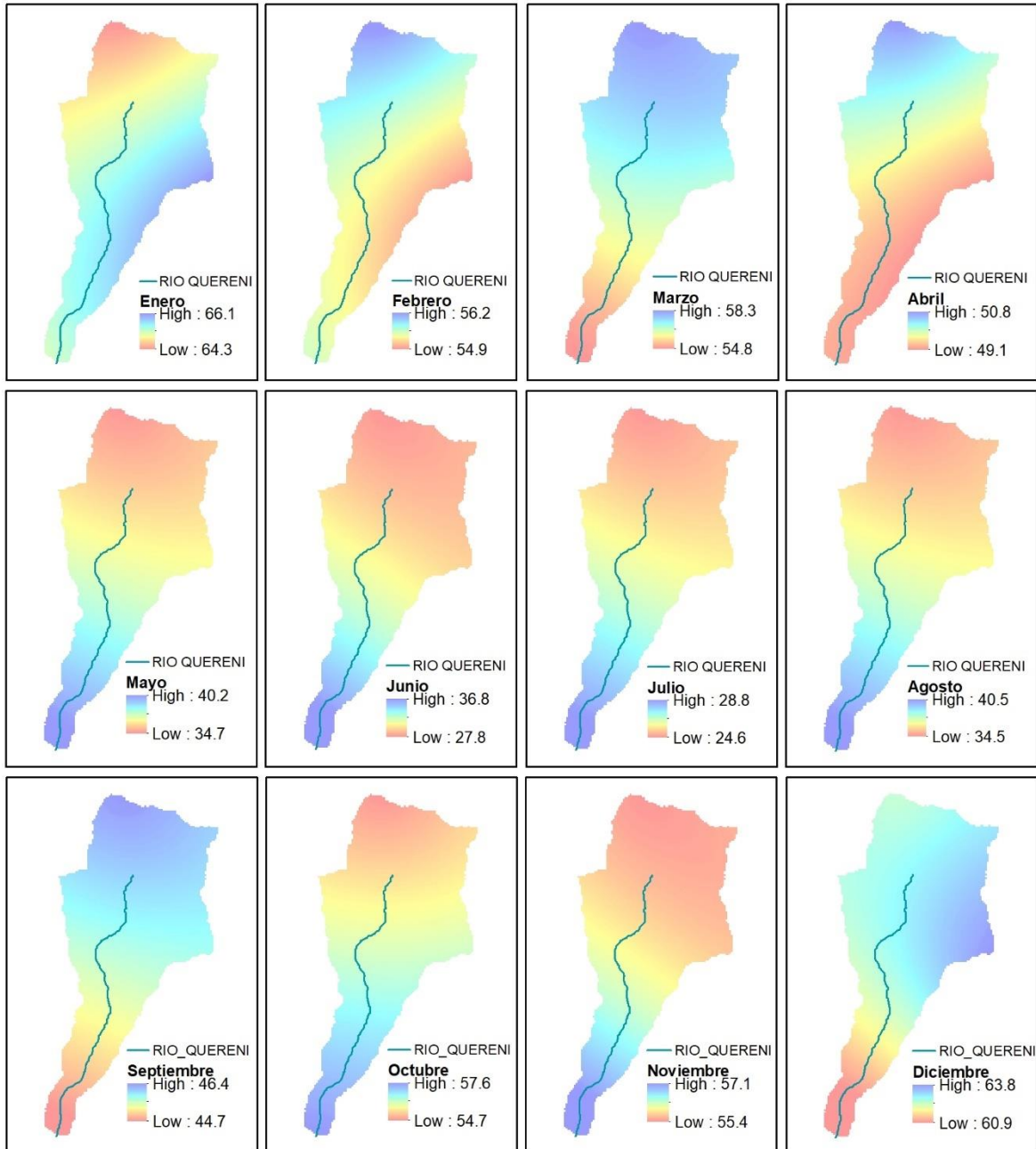
Sistema de referencia : WGS 1984
 Sistema de proyección : UTM
 Zona : 19 S

Elaboración propia
 Fecha de elaboración : Agosto 2020

EVAPOTRANSPIRACIÓN (mm)- MÉTODO DE THORNTHWAITE

AÑO SECO 2007

PYTHON



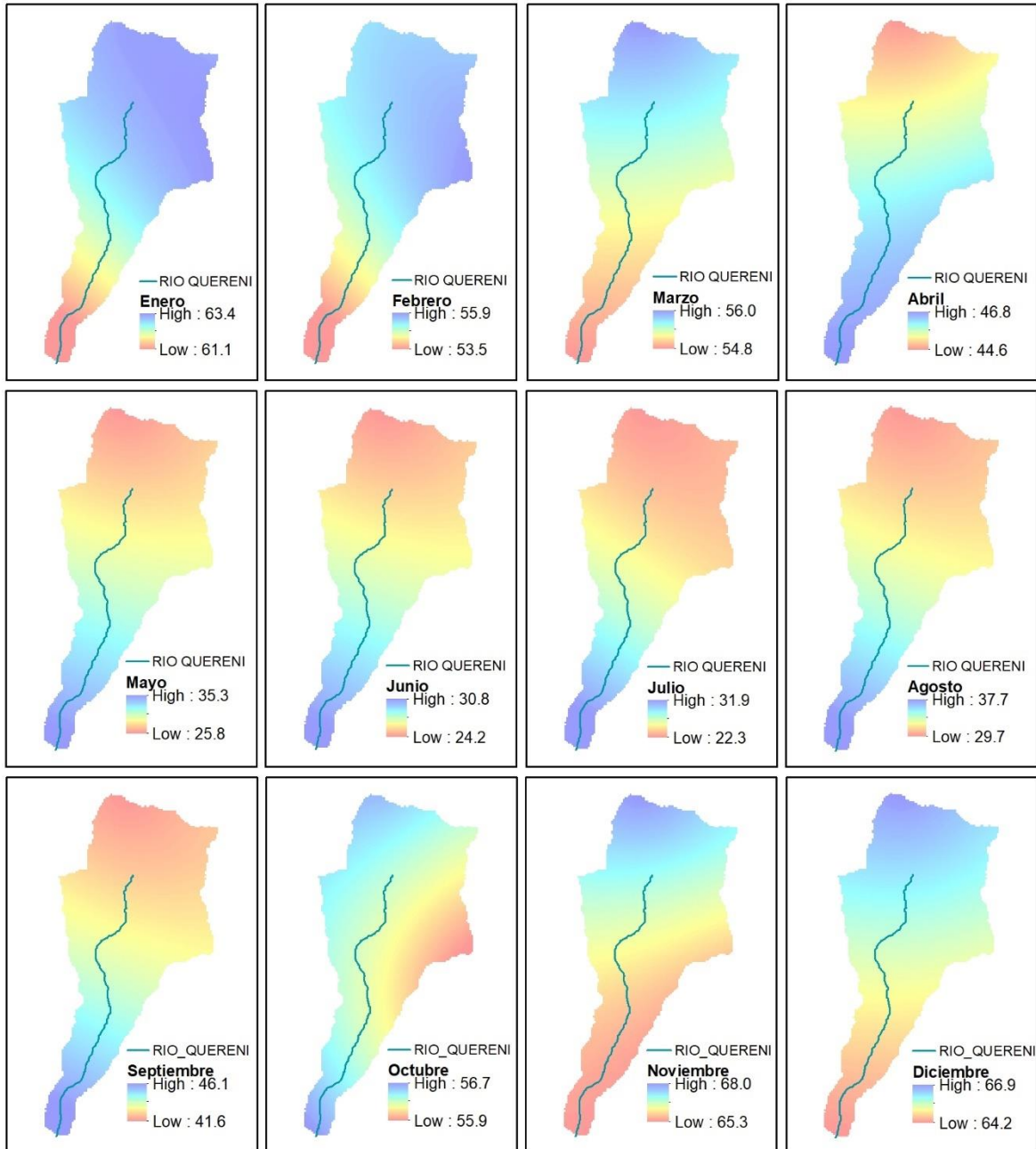
Sistema de referencia : WGS 1984
 Sistema de proyección : UTM
 Zona : 19 S

Elaboración propia
 Fecha de elaboración : Agosto 2020

EVAPOTRANSPIRACIÓN (mm)- MÉTODO DE THORNTHWAITE

AÑO SECO 2008

PYTHON



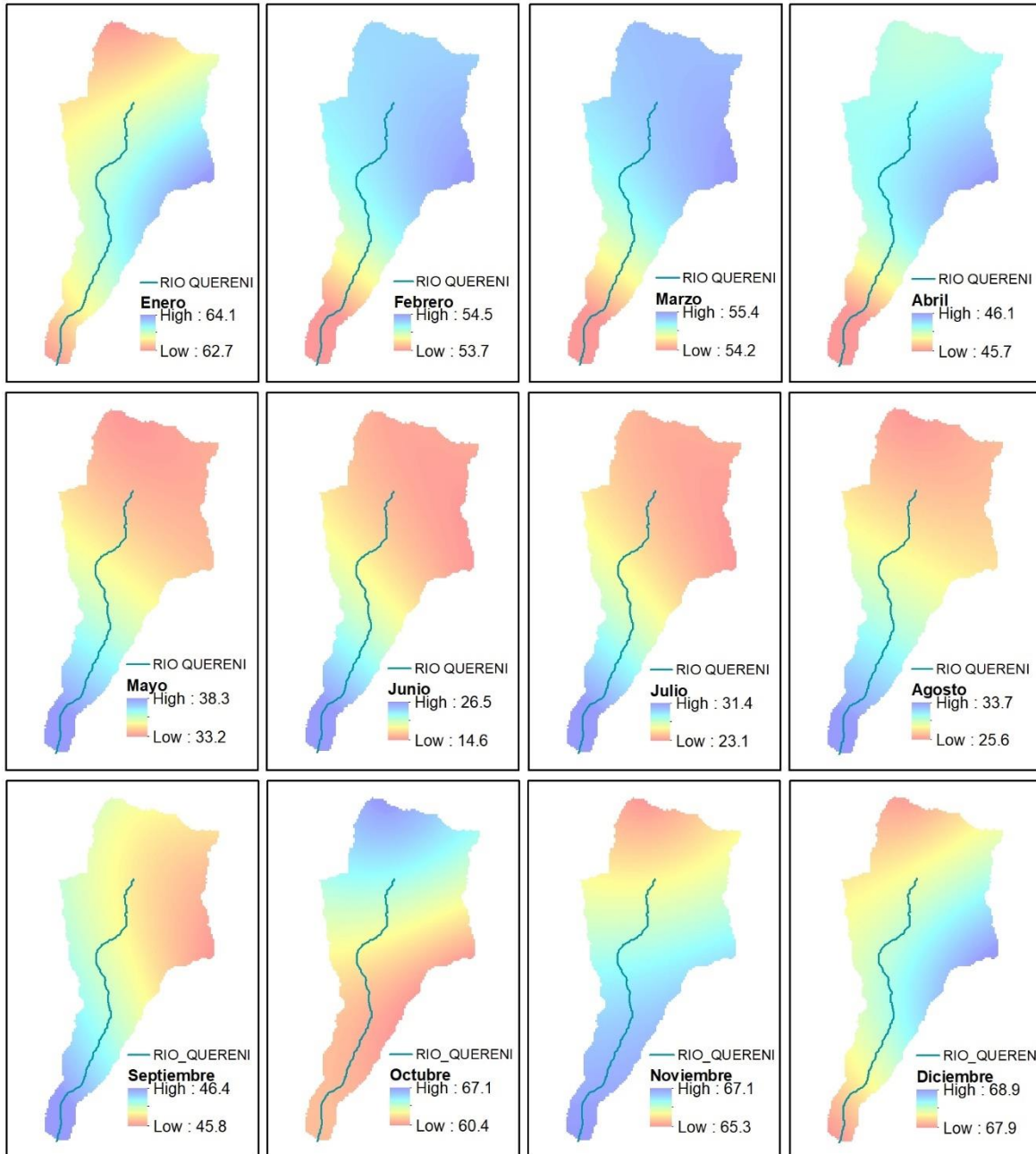
Sistema de referencia : WGS 1984
 Sistema de proyección : UTM
 Zona : 19 S

Elaboración propia
 Fecha de elaboración : Agosto 2020

EVAPOTRANSPIRACIÓN (mm)- MÉTODO DE THORNTHWAITE

AÑO SECO 2009

PYTHON



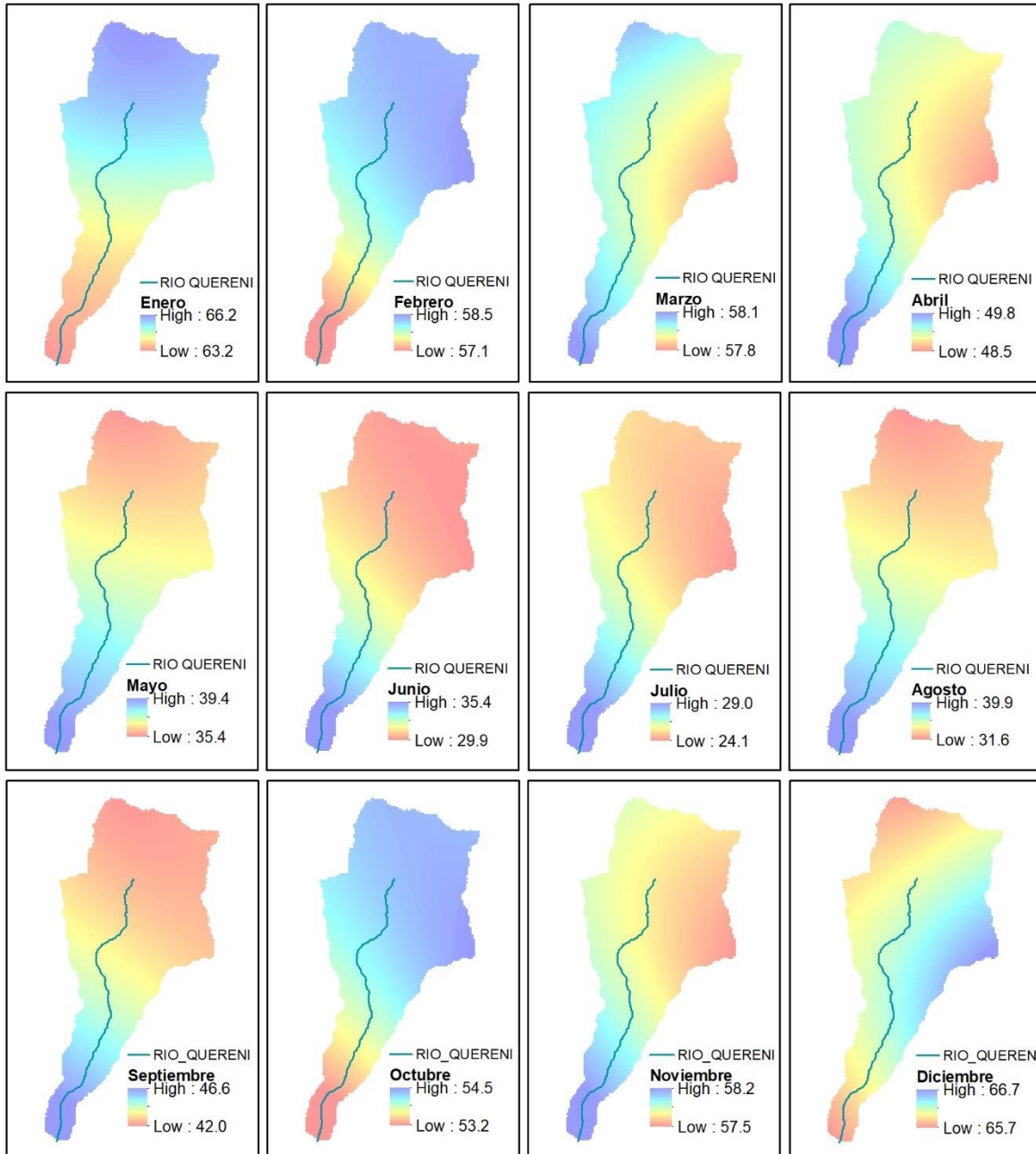
Sistema de referencia : WGS 1984
 Sistema de proyección : UTM
 Zona : 19 S

Elaboración propia
 Fecha de elaboración : Agosto 2020

EVAPOTRANSPIRACIÓN (mm)- MÉTODO DE THORNTHWAITE

AÑO SECO 2010

PYTHON



Sistema de referencia : WGS 1984

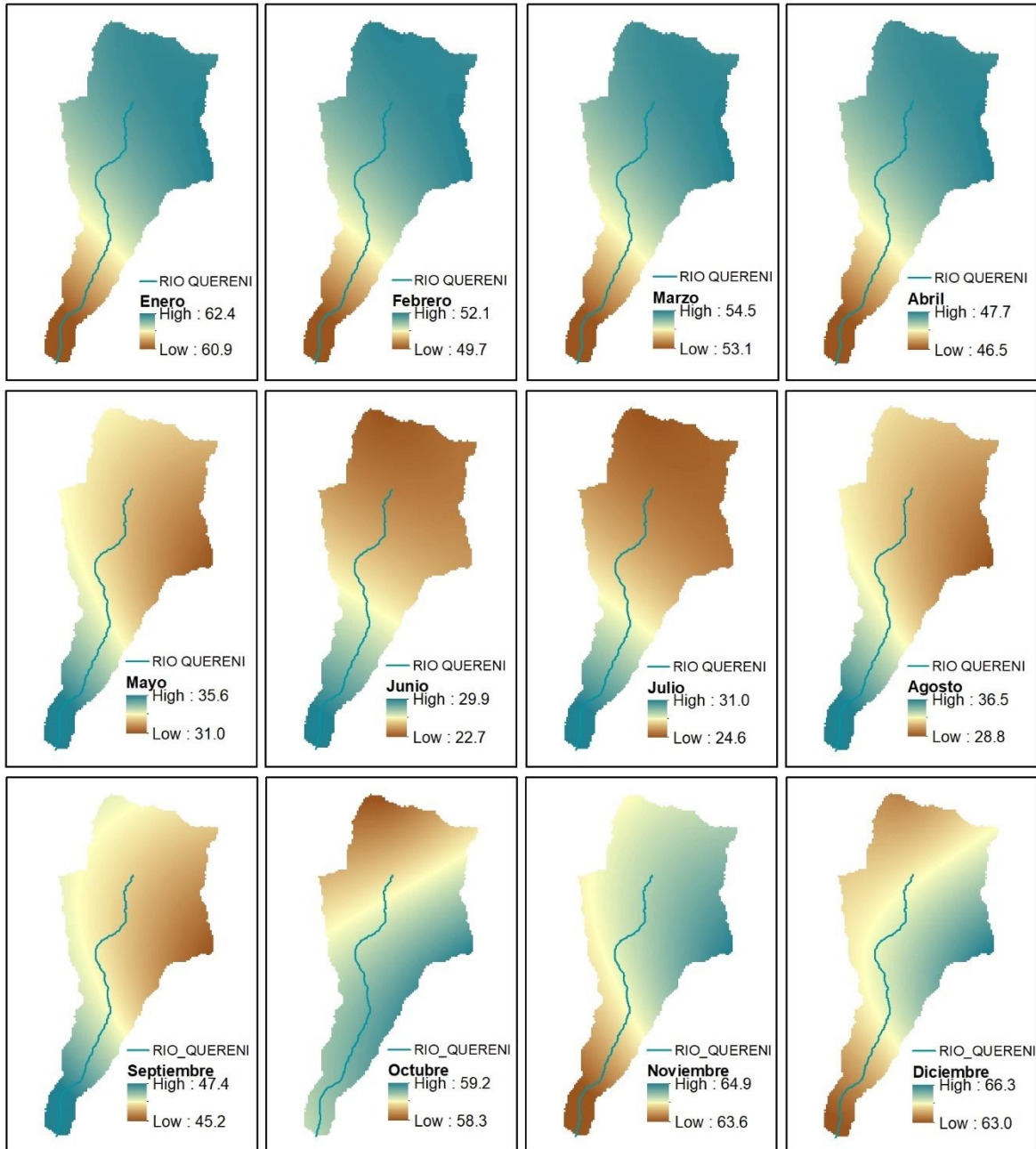
Sistema de proyección : UTM

Zona : 19 S

Elaboración propia

Fecha de elaboración : Agosto 2020

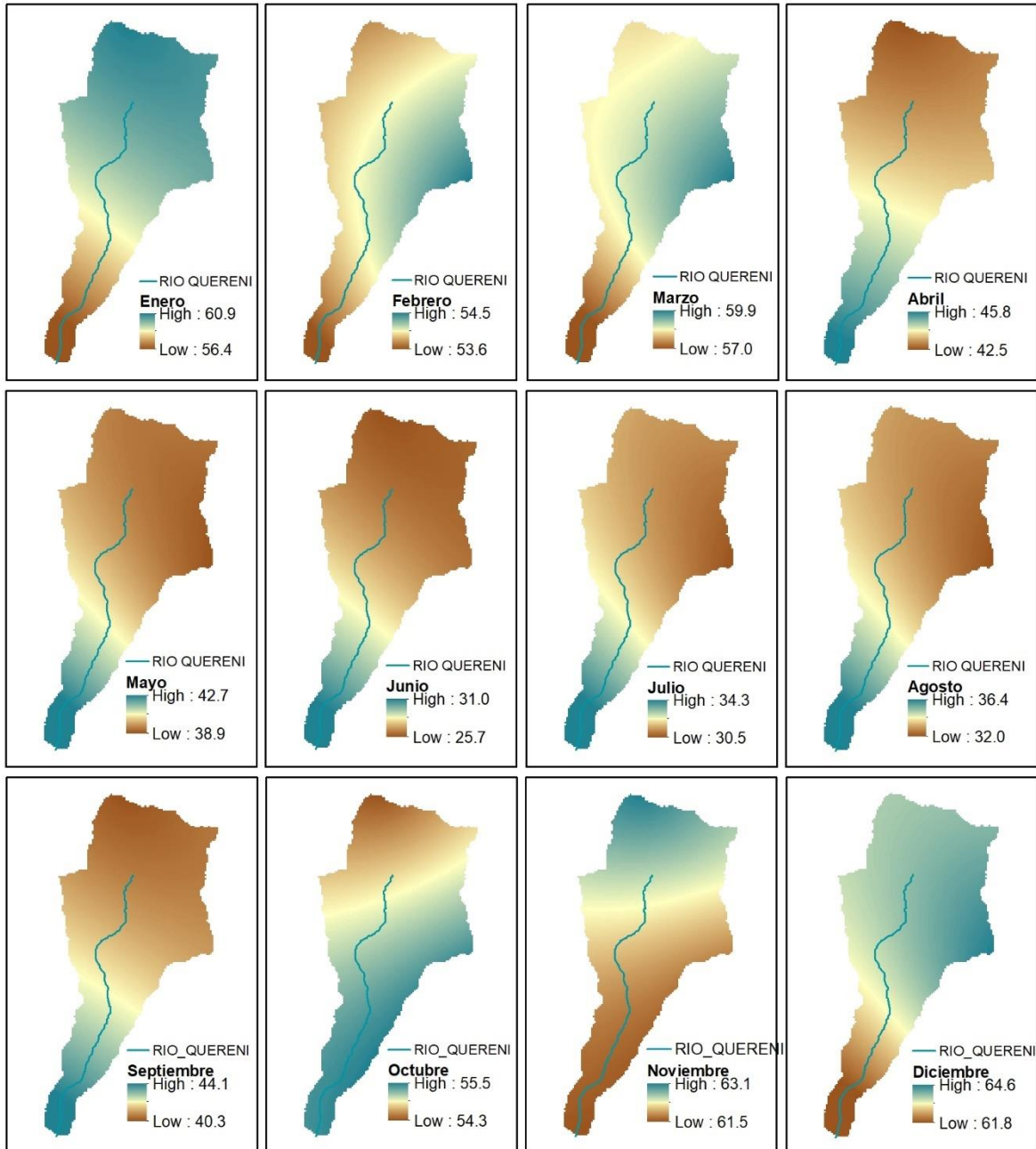
EVAPOTRANSPIRACIÓN (mm)- MÉTODO DE THORNTHWAITE
AÑO NORMAL 2012
 PYTHON



Sistema de referencia : WGS 1984
 Sistema de proyección : UTM
 Zona : 19 S

Elaboración propia
 Fecha de elaboración : Agosto 2020

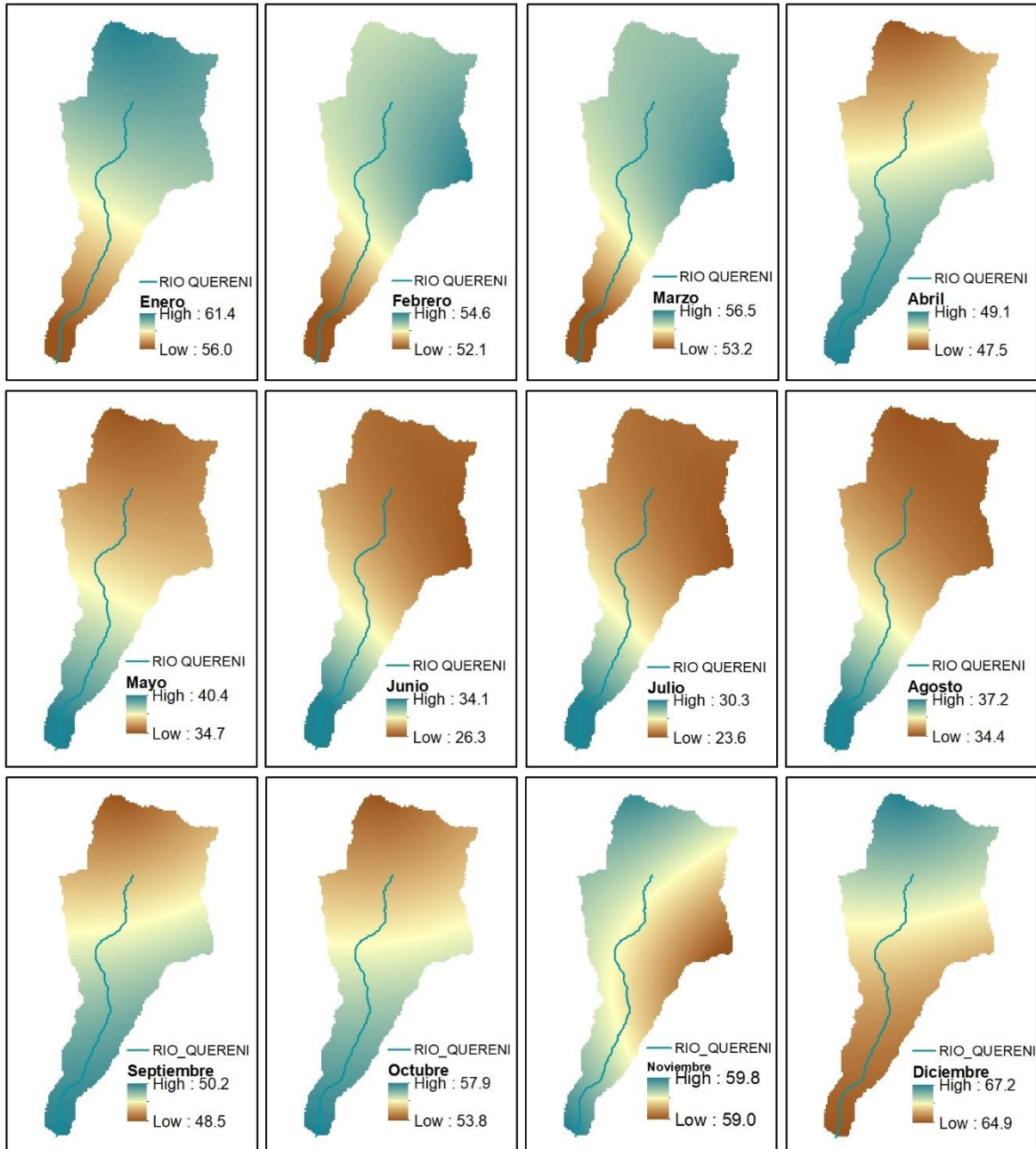
EVAPOTRANSPIRACIÓN (mm)- MÉTODO DE THORNTHWAITE
AÑO NORMAL 2013
 PYTHON



Sistema de referencia : WGS 1984
 Sistema de proyección : UTM
 Zona : 19 S

Elaboración propia
 Fecha de elaboración : Agosto 2020

EVAPOTRANSPIRACIÓN (mm)- MÉTODO DE THORNTHWAITE
AÑO NORMAL 2014
 PYTHON



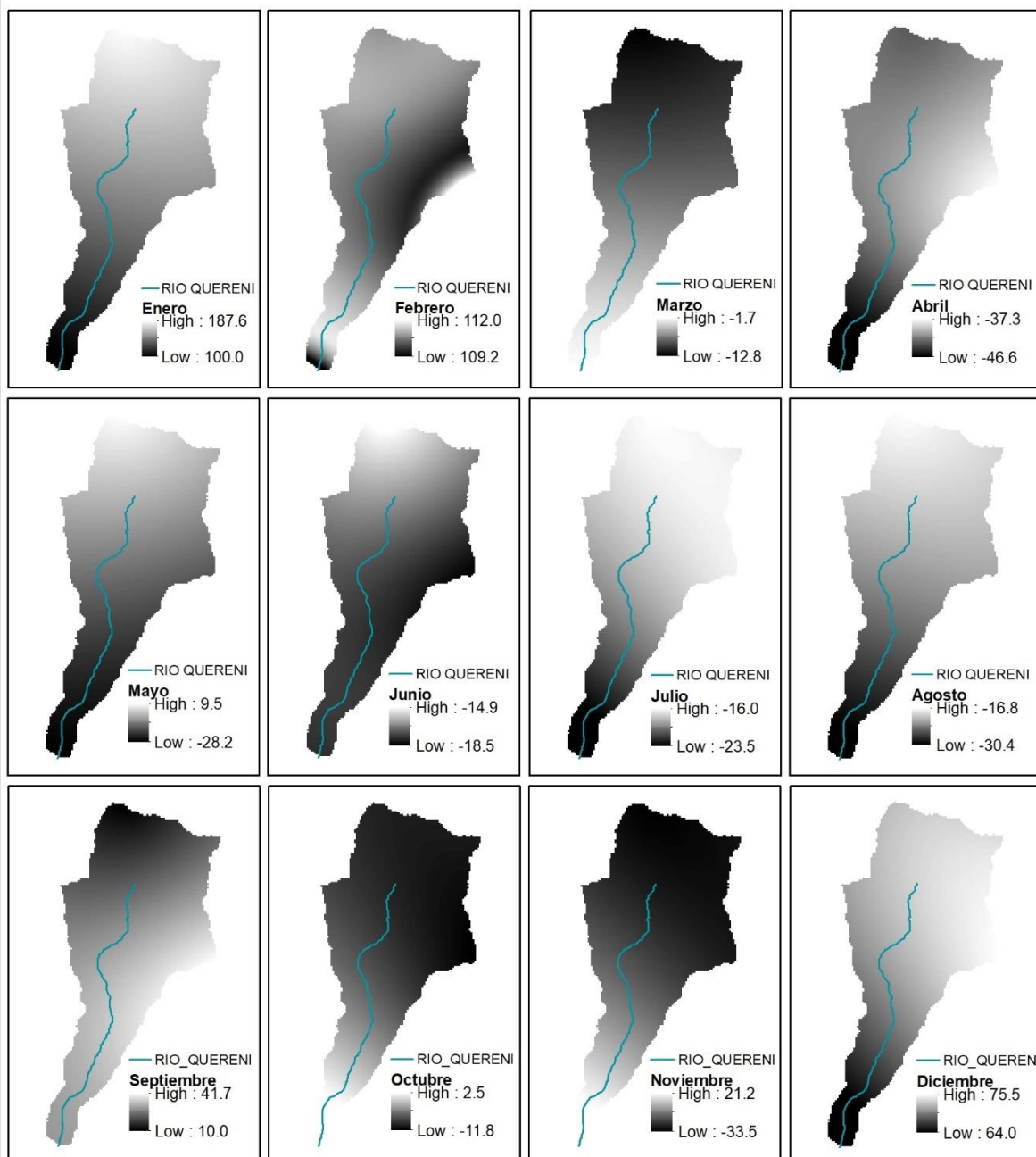
Sistema de referencia : WGS 1984
 Sistema de proyección : UTM
 Zona : 19 S

Elaboración propia
 Fecha de elaboración : Agosto 2020

BALANCE HÍDRICO (mm)

AÑO HÚMEDO 1975

PYTHON



Sistema de referencia : WGS 1984

Sistema de proyección : UTM

Zona : 19 S

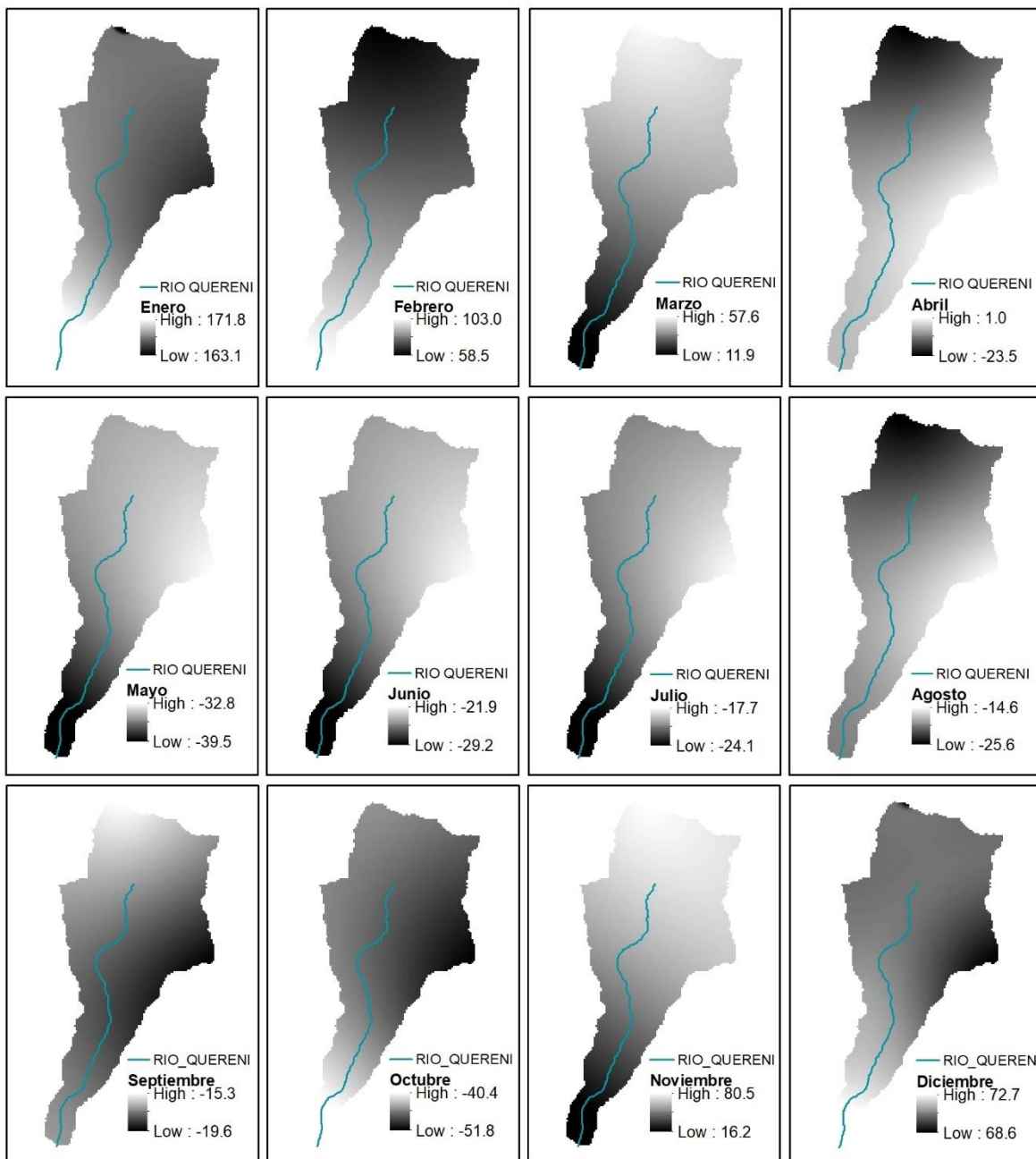
Elaboración propia

Fecha de elaboración : Agosto 2020

BALANCE HÍDRICO (mm)

AÑO HÚMEDO 1978

PYTHON



Sistema de referencia : WGS 1984

Sistema de proyección : UTM

Zona : 19 S

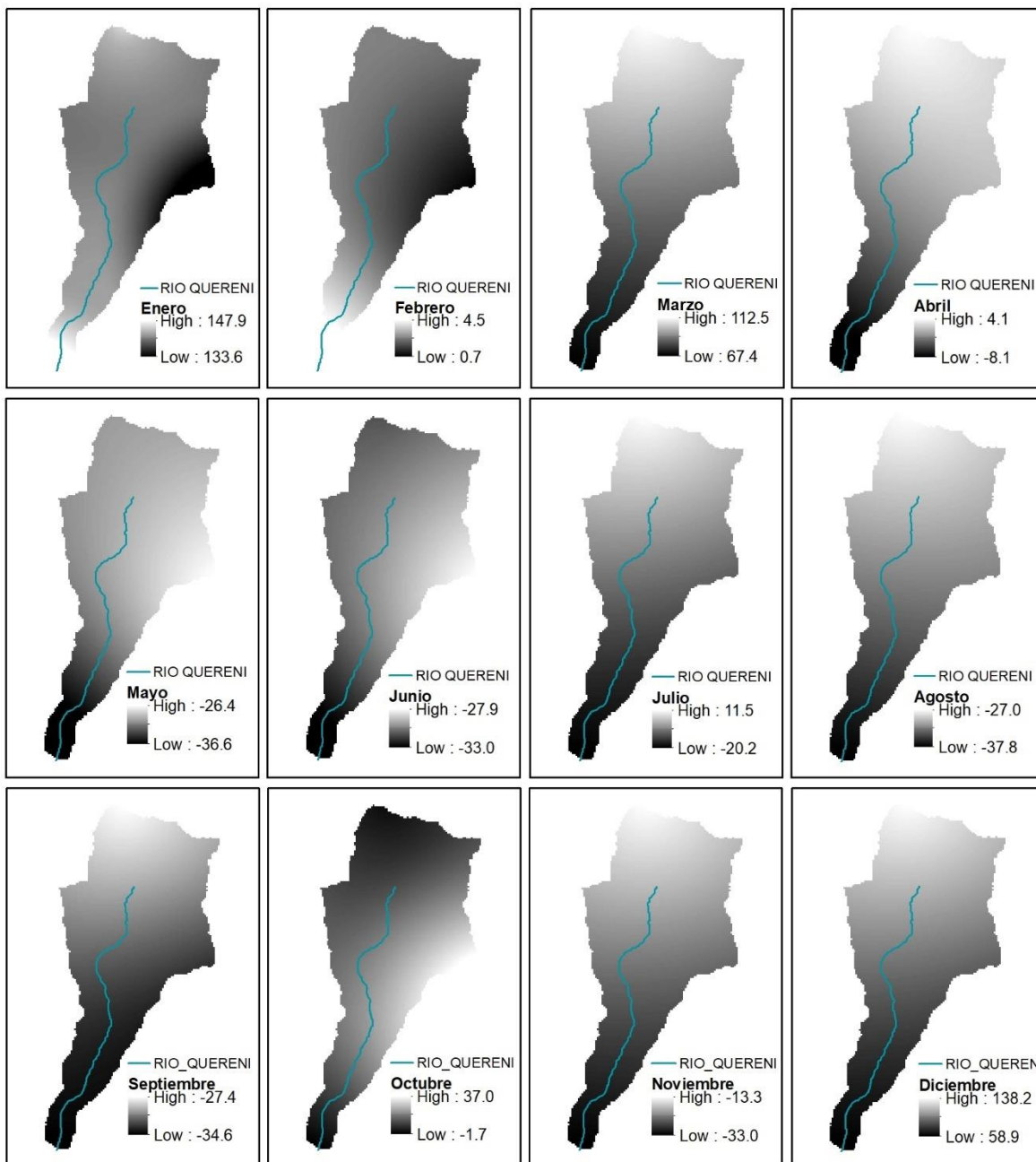
Elaboración propia

Fecha de elaboración : Agosto 2020

BALANCE HÍDRICO (mm)

AÑO HÚMEDO 1979

PYTHON



Sistema de referencia : WGS 1984

Sistema de proyección : UTM

Zona : 19 S

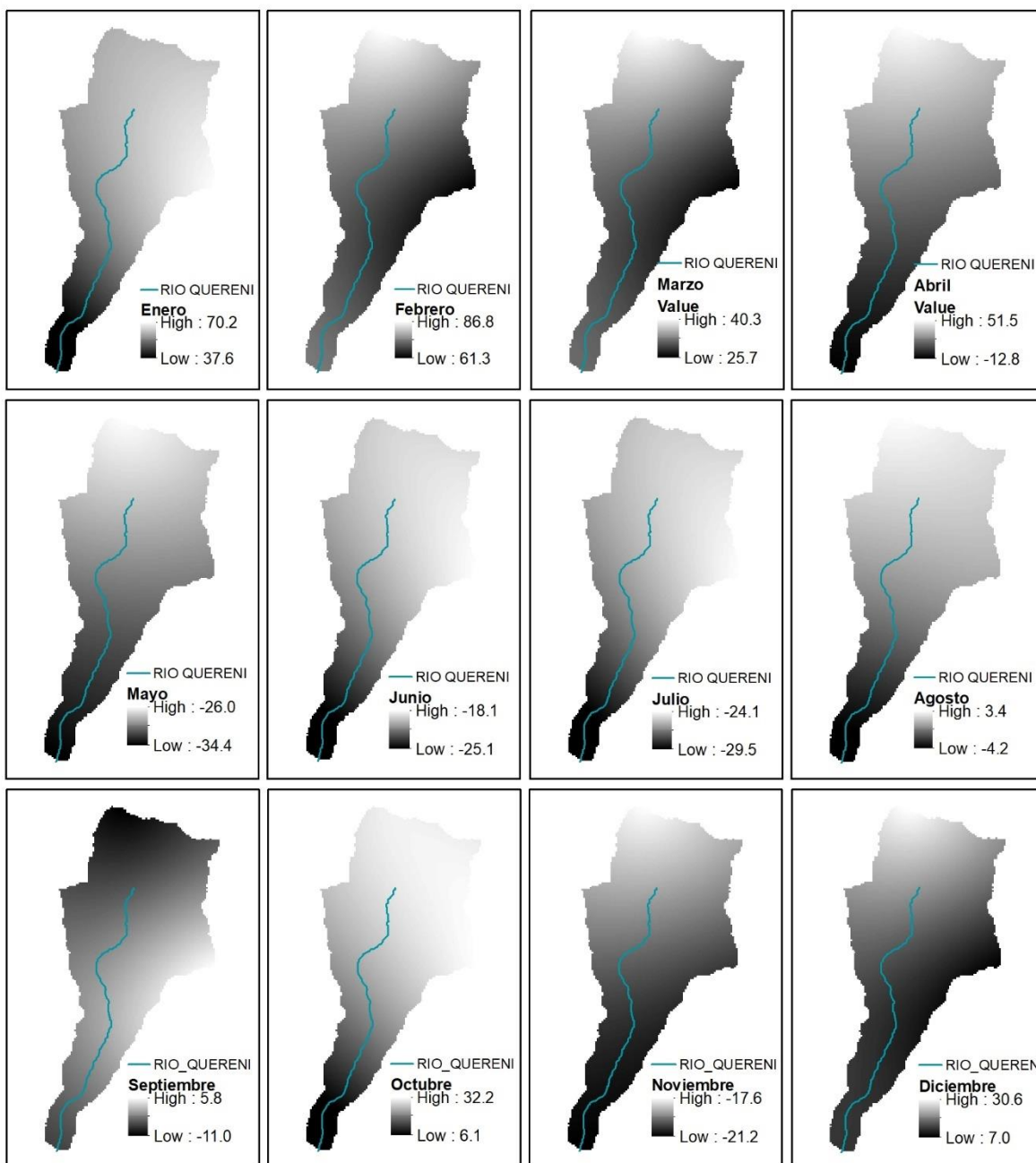
Elaboración propia

Fecha de elaboración : Agosto 2020

BALANCE HÍDRICO (mm)

AÑO HÚMEDO 1981

PYTHON



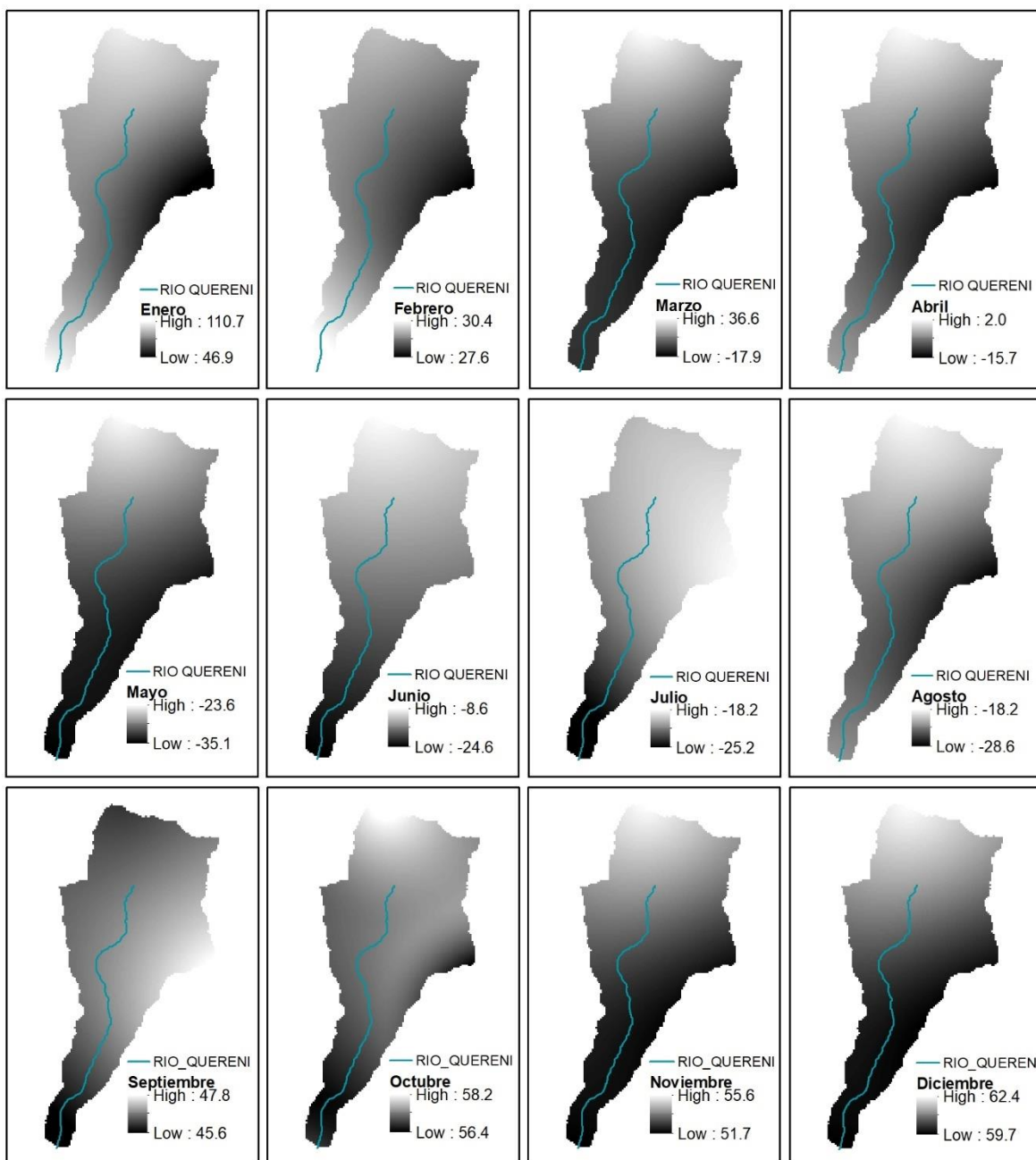
Sistema de referencia : WGS 1984
 Sistema de proyección : UTM
 Zona : 19 S

Elaboración propia
 Fecha de elaboración : Agosto 2020

BALANCE HÍDRICO (mm)

AÑO HÚMEDO 1985

PYTHON



Sistema de referencia : WGS 1984

Sistema de proyección : UTM

Zona : 19 S

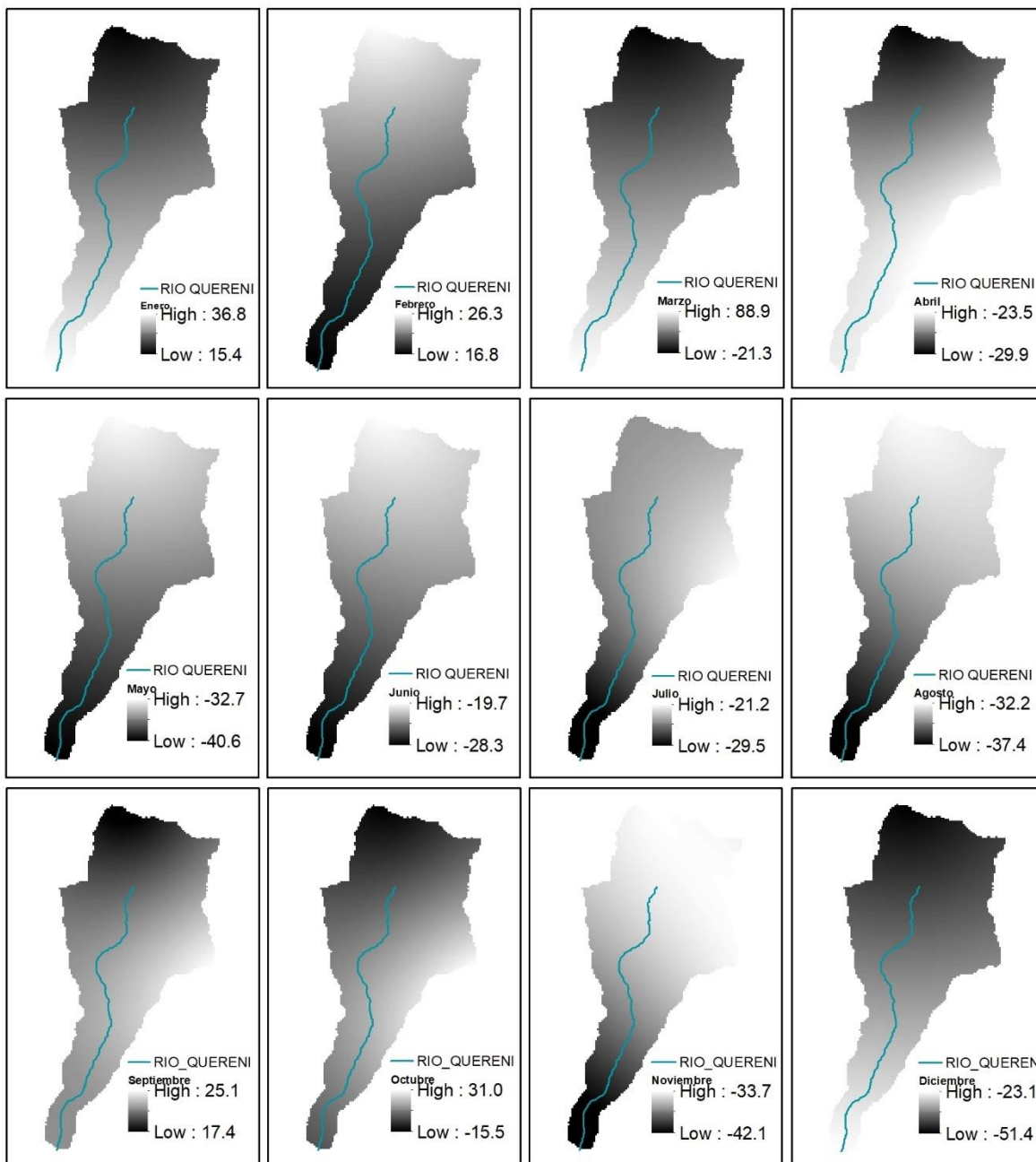
Elaboración propia

Fecha de elaboración : Agosto 2020

BALANCE HÍDRICO (mm)

AÑO HÚMEDO 1999

PYTHON



Sistema de referencia : WGS 1984

Sistema de proyección : UTM

Zona : 19 S

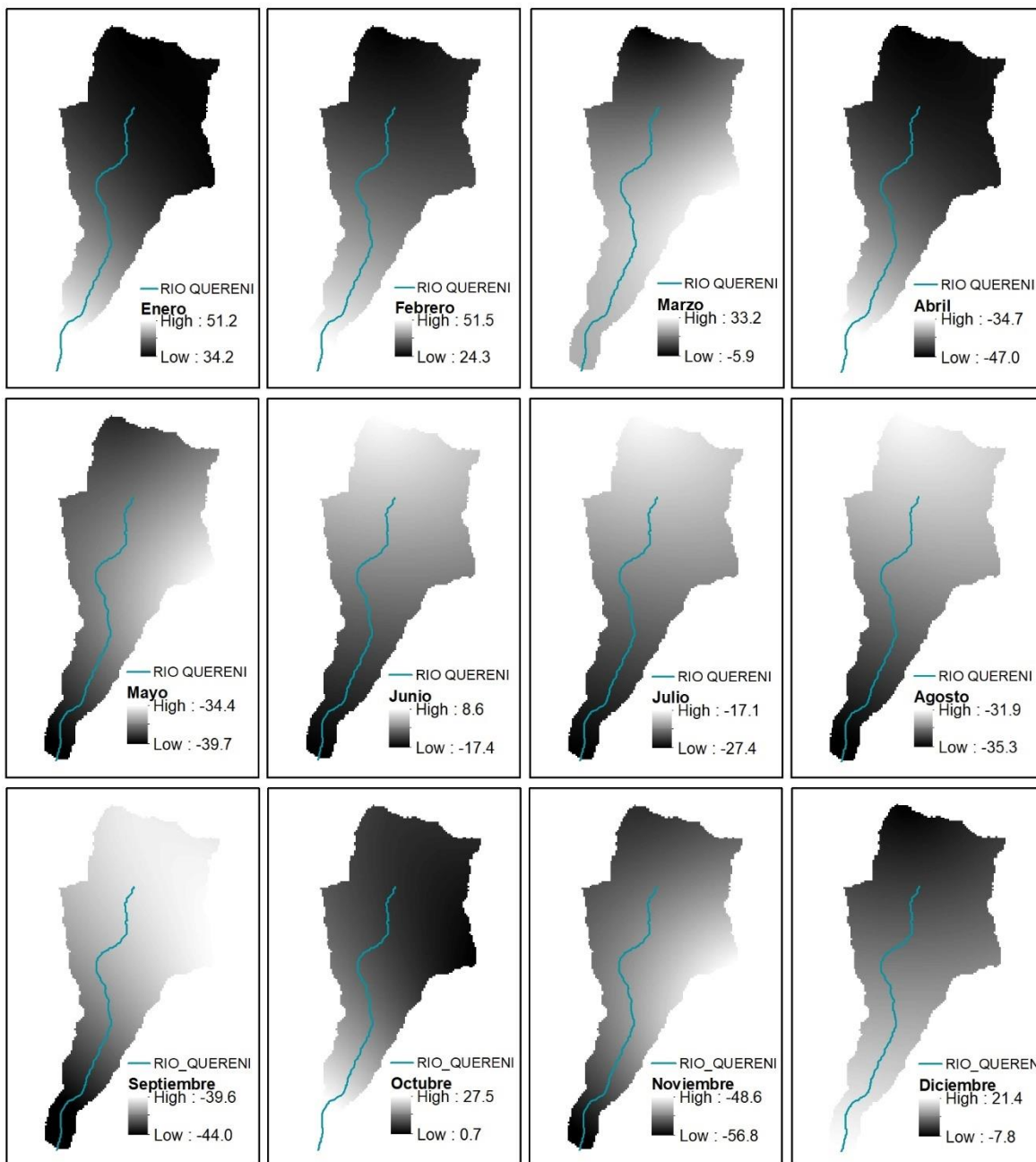
Elaboración propia

Fecha de elaboración : Agosto 2020

BALANCE HÍDRICO (mm)

AÑO SECO 2000

PYTHON



Sistema de referencia : WGS 1984

Sistema de proyección : UTM

Zona : 19 S

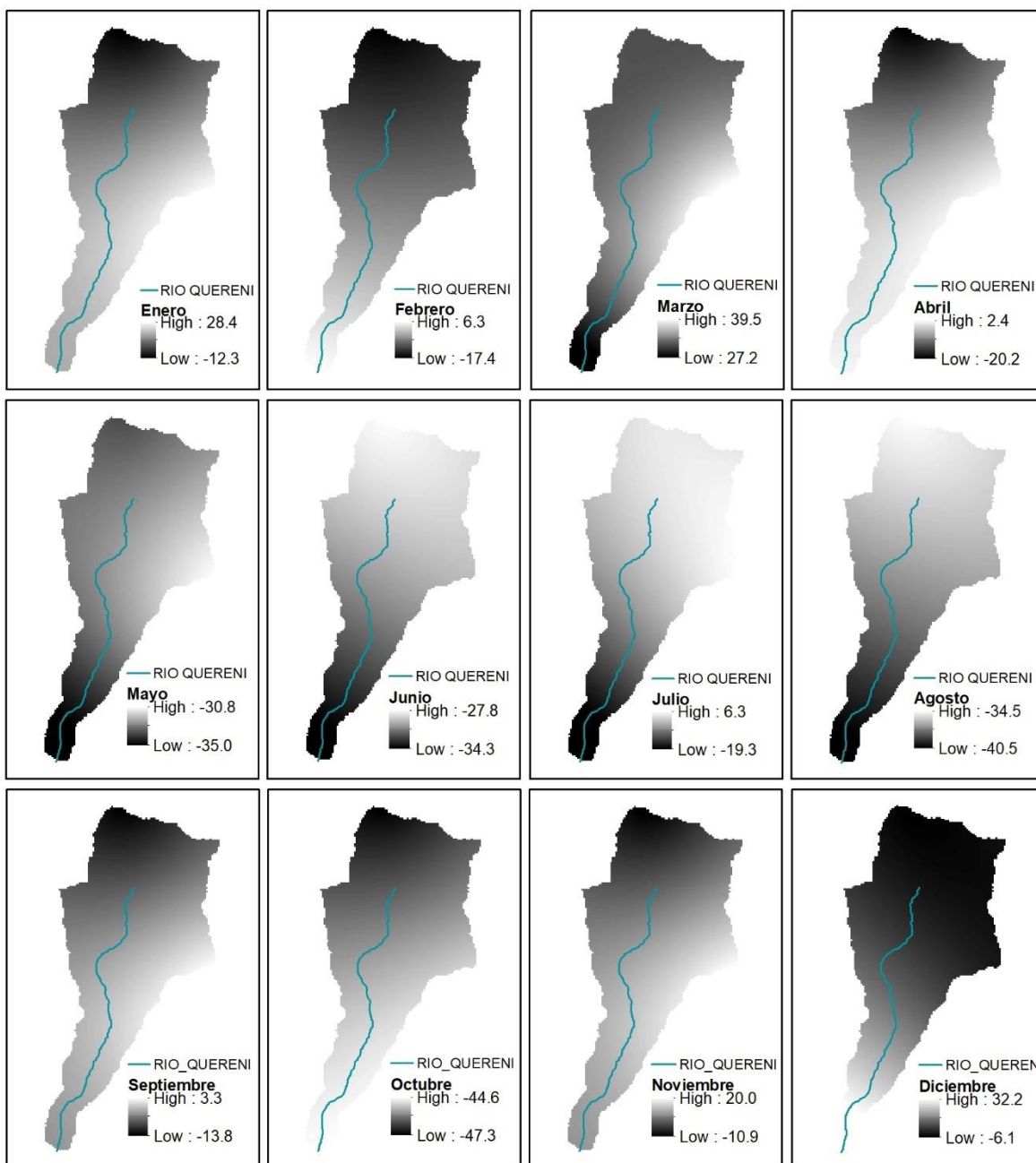
Elaboración propia

Fecha de elaboración : Agosto 2020

BALANCE HÍDRICO (mm)

AÑO SECO 2007

PYTHON



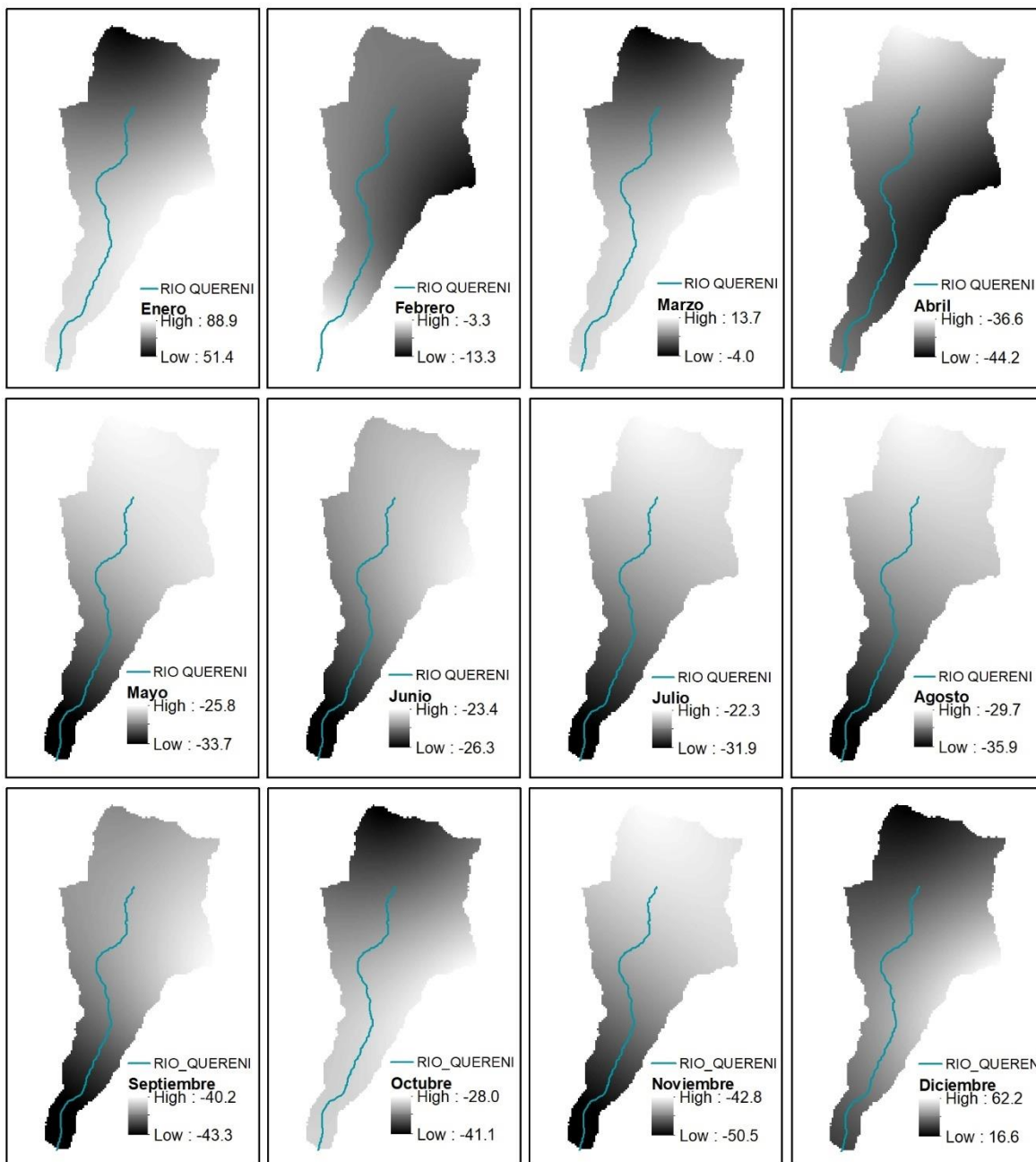
Sistema de referencia : WGS 1984
 Sistema de proyección : UTM
 Zona : 19 S

Elaboración propia
 Fecha de elaboración : Agosto 2020

BALANCE HÍDRICO (mm)

AÑO SECO 2008

PYTHON



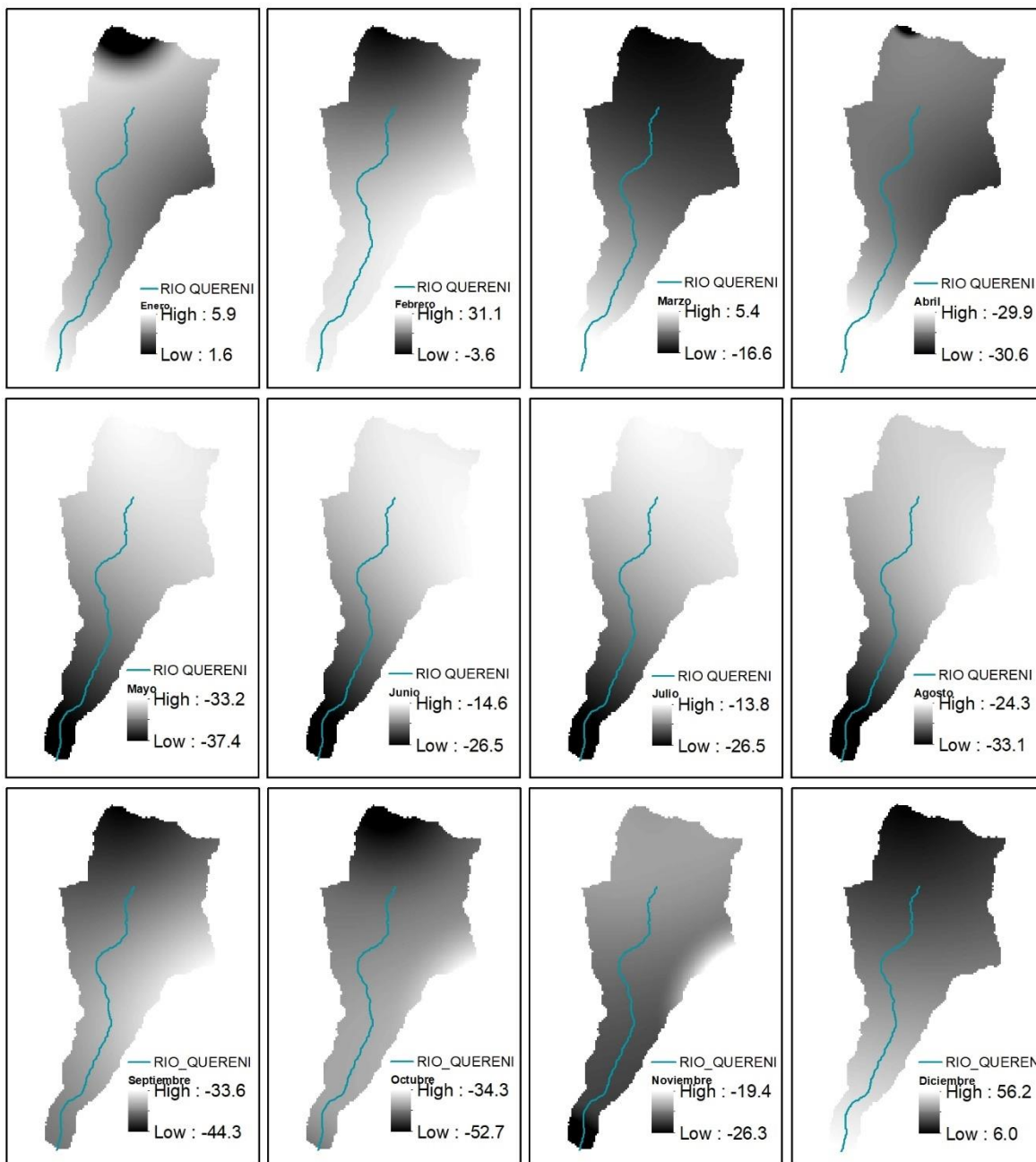
Sistema de referencia : WGS 1984
 Sistema de proyección : UTM
 Zona : 19 S

Elaboración propia
 Fecha de elaboración : Agosto 2020

BALANCE HÍDRICO (mm)

AÑO SECO 2009

PYTHON



Sistema de referencia : WGS 1984

Sistema de proyección : UTM

Zona : 19 S

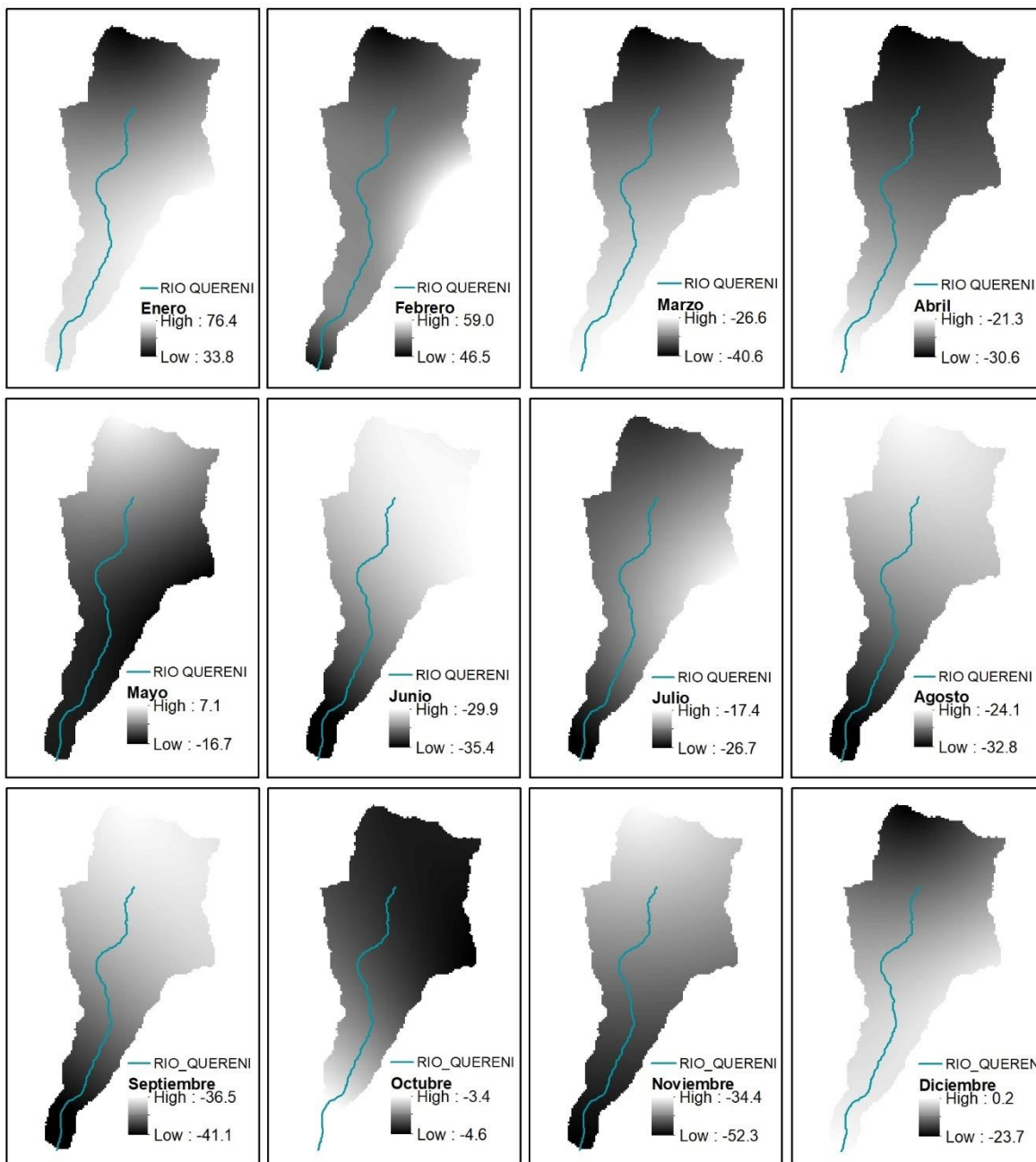
Elaboración propia

Fecha de elaboración : Agosto 2020

BALANCE HÍDRICO (mm)

AÑO SECO 2010

PYTHON



Sistema de referencia : WGS 1984

Sistema de proyección : UTM

Zona : 19 S

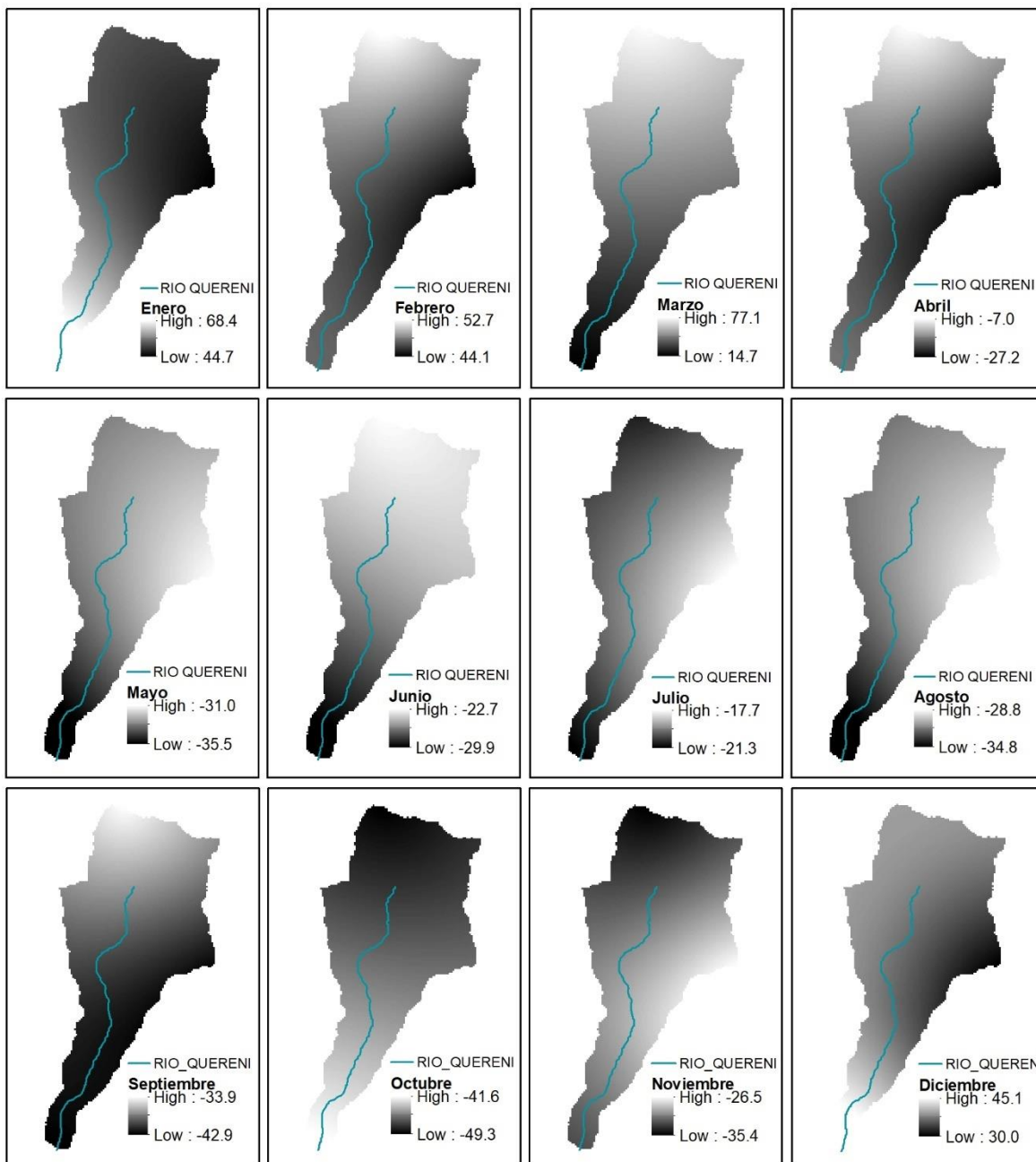
Elaboración propia

Fecha de elaboración : Agosto 2020

BALANCE HÍDRICO (mm)

AÑO SECO 2012

PYTHON



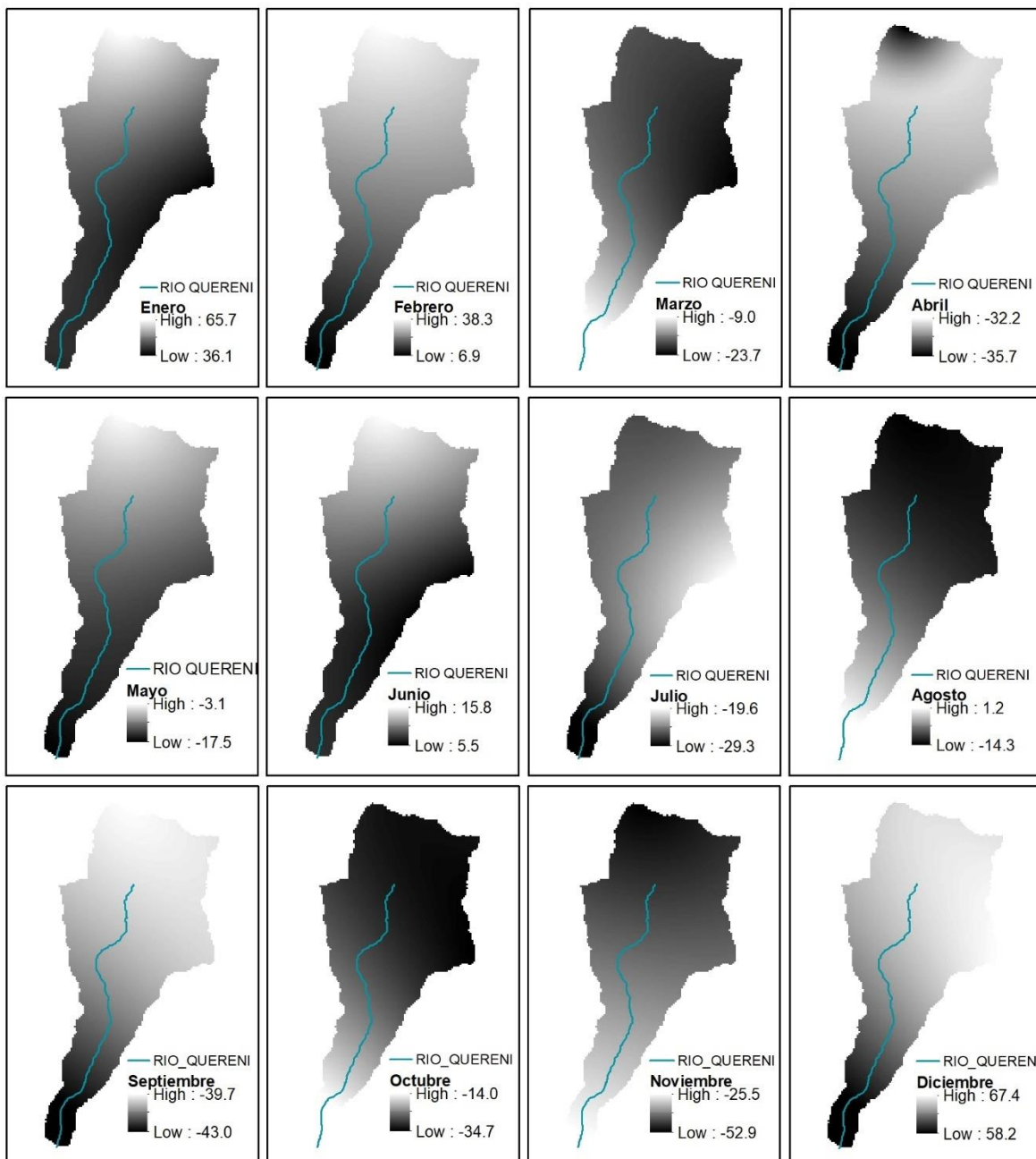
Sistema de referencia : WGS 1984
 Sistema de proyección : UTM
 Zona : 19 S

Elaboración propia
 Fecha de elaboración : Agosto 2020

BALANCE HÍDRICO (mm)

AÑO SECO 2013

PYTHON



Sistema de referencia : WGS 1984

Sistema de proyección : UTM

Zona : 19 S

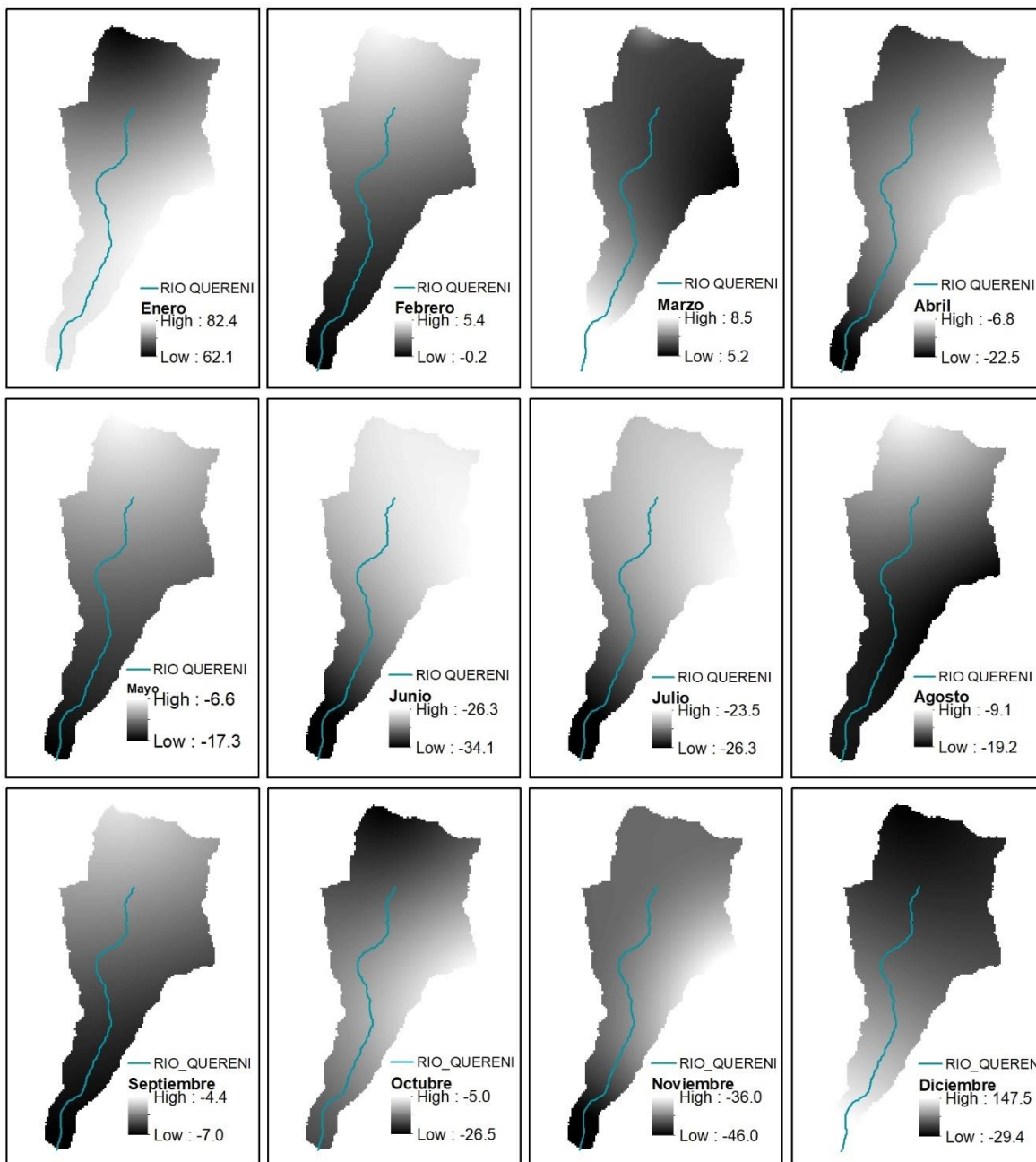
Elaboración propia

Fecha de elaboración : Agosto 2020

BALANCE HÍDRICO (mm)

AÑO SECO 2014

PYTHON



Sistema de referencia : WGS 1984

Sistema de proyección : UTM

Zona : 19 S

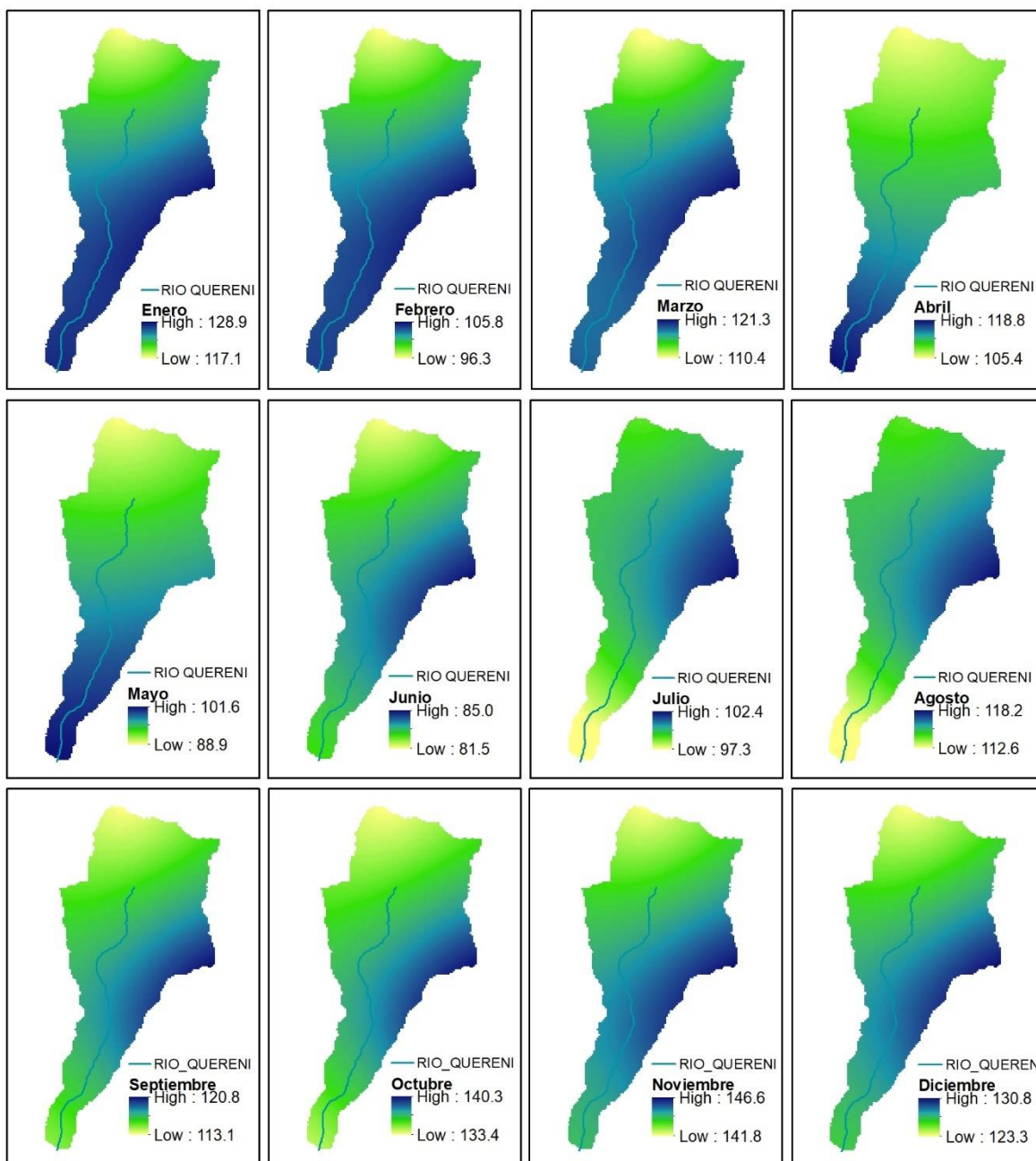
Elaboración propia

Fecha de elaboración : Agosto 2020

EVAPOTRANSPIRACIÓN (mm) - MÉTODO DE PENMAN MONTEITH

AÑO HÚMEDO 1975

PYTHON



Sistema de referencia : WGS 1984

Sistema de proyección : UTM

Zona : 19 S

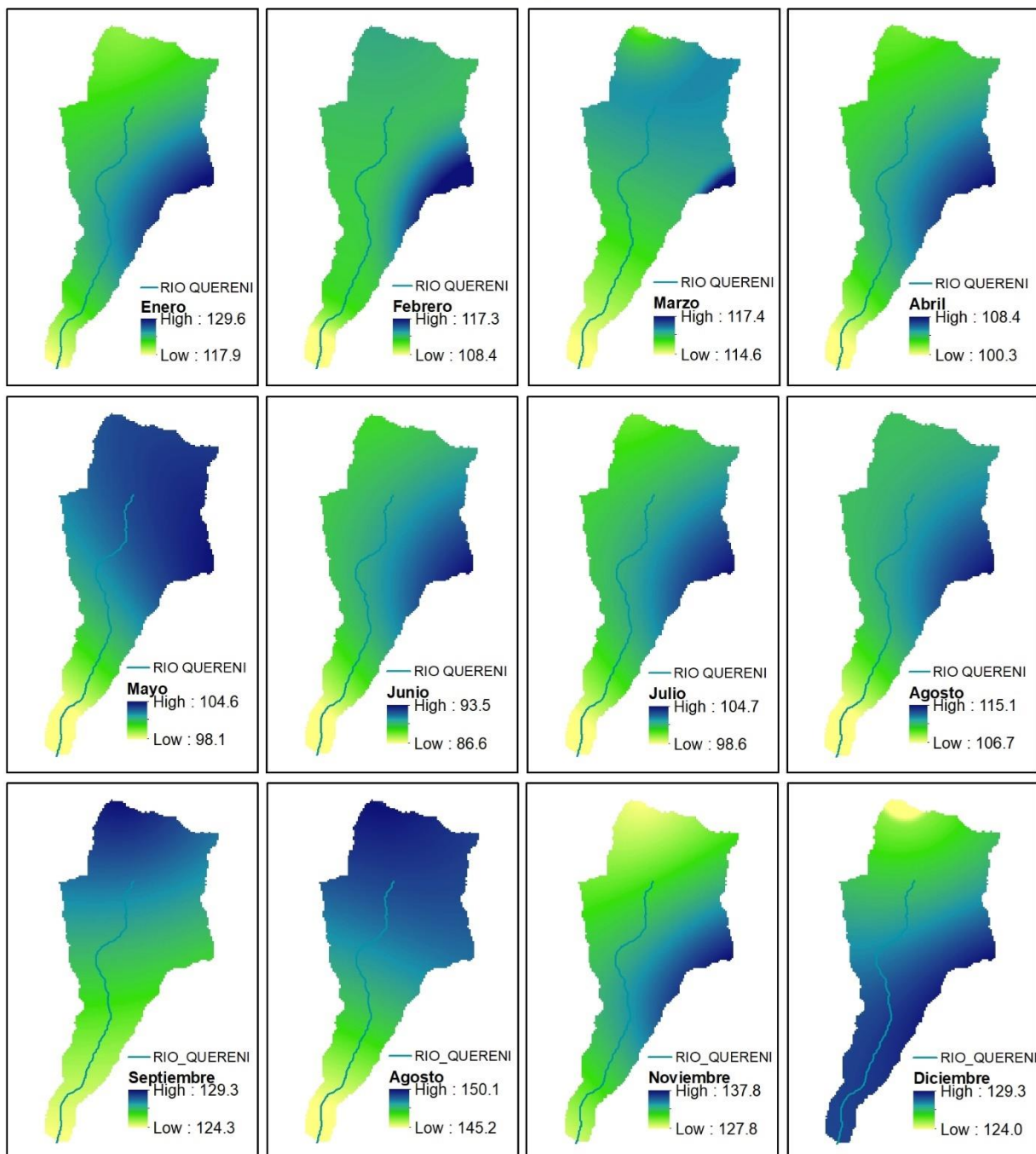
Elaboración propia

Fecha de elaboración : Agosto 2020

EVAPOTRANSPIRACIÓN (mm) - MÉTODO DE PENMAN MONTEITH

AÑO HÚMEDO 1978

PYTHON



Sistema de referencia : WGS 1984

Sistema de proyección : UTM

Zona : 19 S

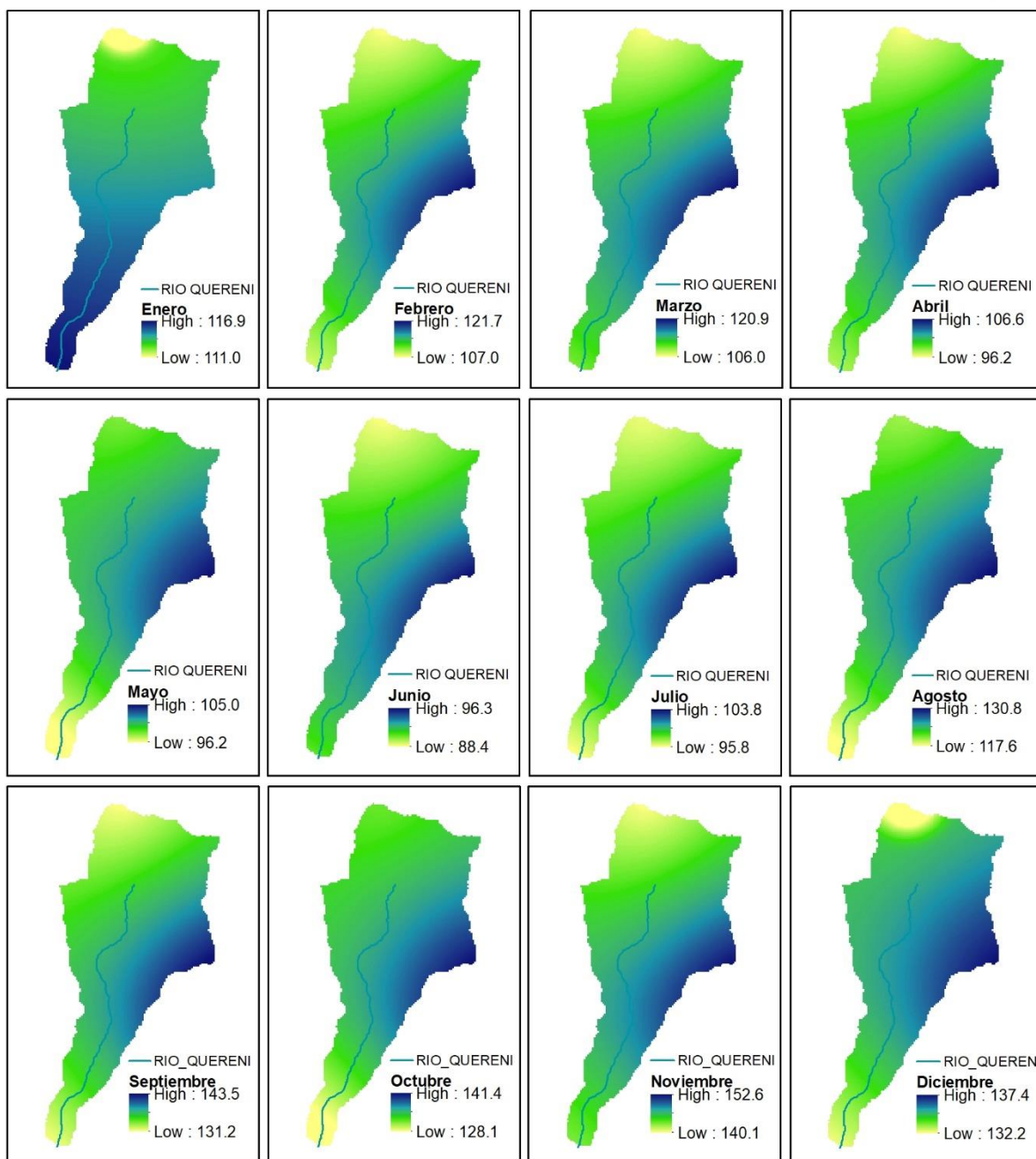
Elaboración propia

Fecha de elaboración : Agosto 2020

EVAPOTRANSPIRACIÓN (mm) - MÉTODO DE PENMAN MONTEITH

AÑO HÚMEDO 1979

PYTHON



Sistema de referencia : WGS 1984

Sistema de proyección : UTM

Zona : 19 S

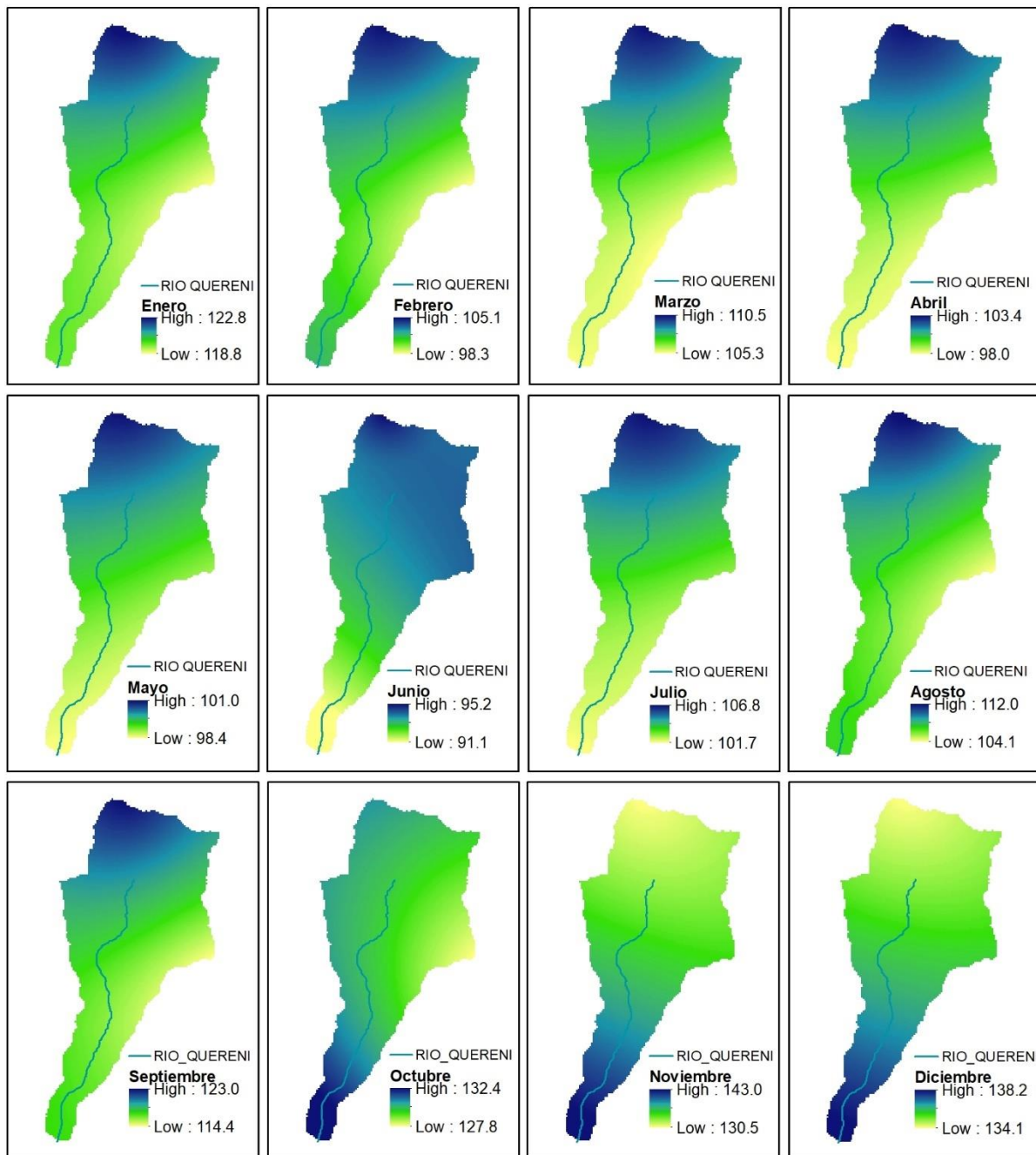
Elaboración propia

Fecha de elaboración : Agosto 2020

EVAPOTRANSPIRACIÓN (mm) - MÉTODO DE PENMAN MONTEITH

AÑO HÚMEDO 1981

PYTHON



Sistema de referencia : WGS 1984

Sistema de proyección : UTM

Zona : 19 S

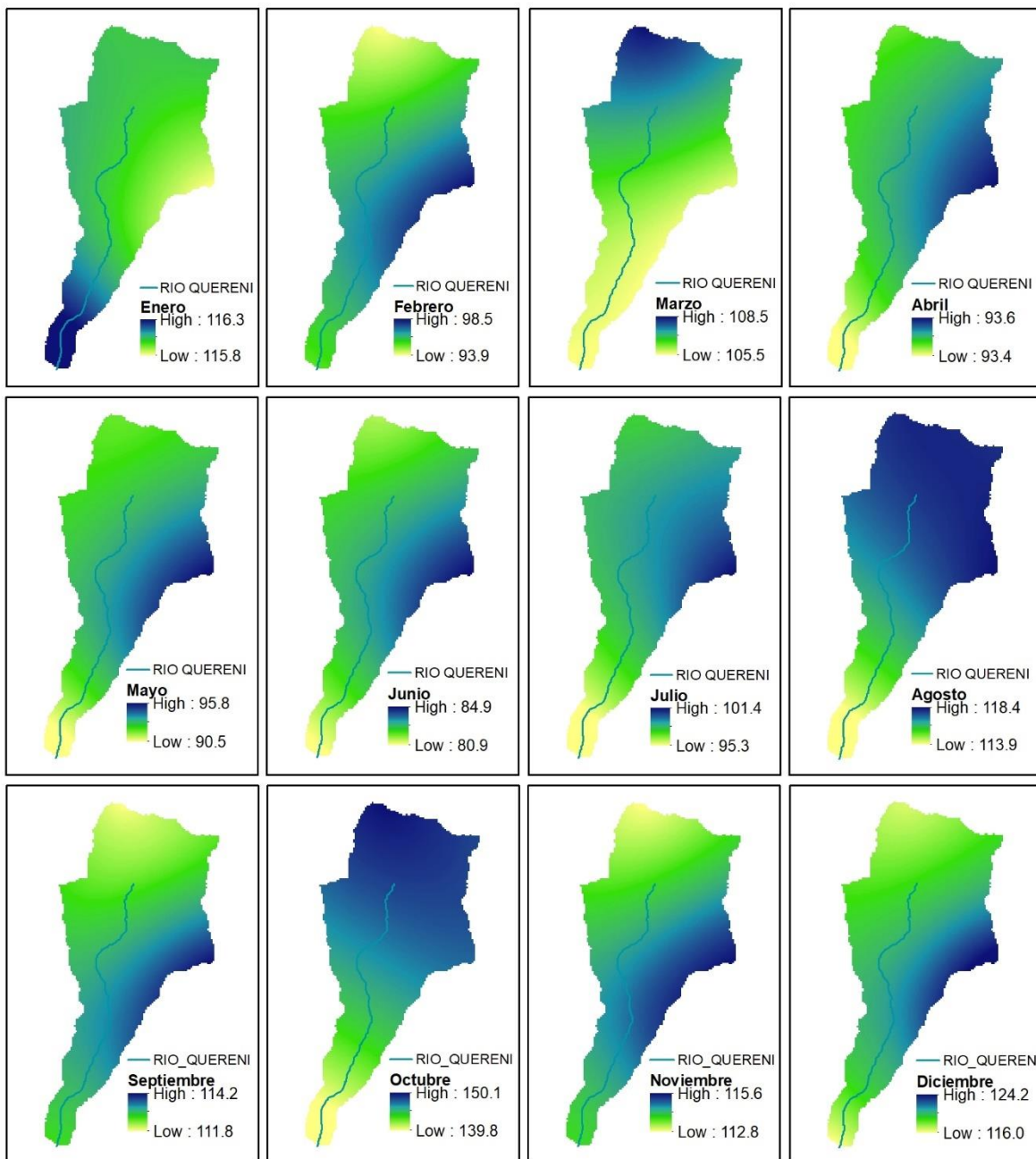
Elaboración propia

Fecha de elaboración : Agosto 2020

EVAPOTRANSPIRACIÓN (mm)- MÉTODO DE PENMAN MONTEITH

AÑO HÚMEDO 1985

PYTHON



Sistema de referencia : WGS 1984

Sistema de proyección : UTM

Zona : 19 S

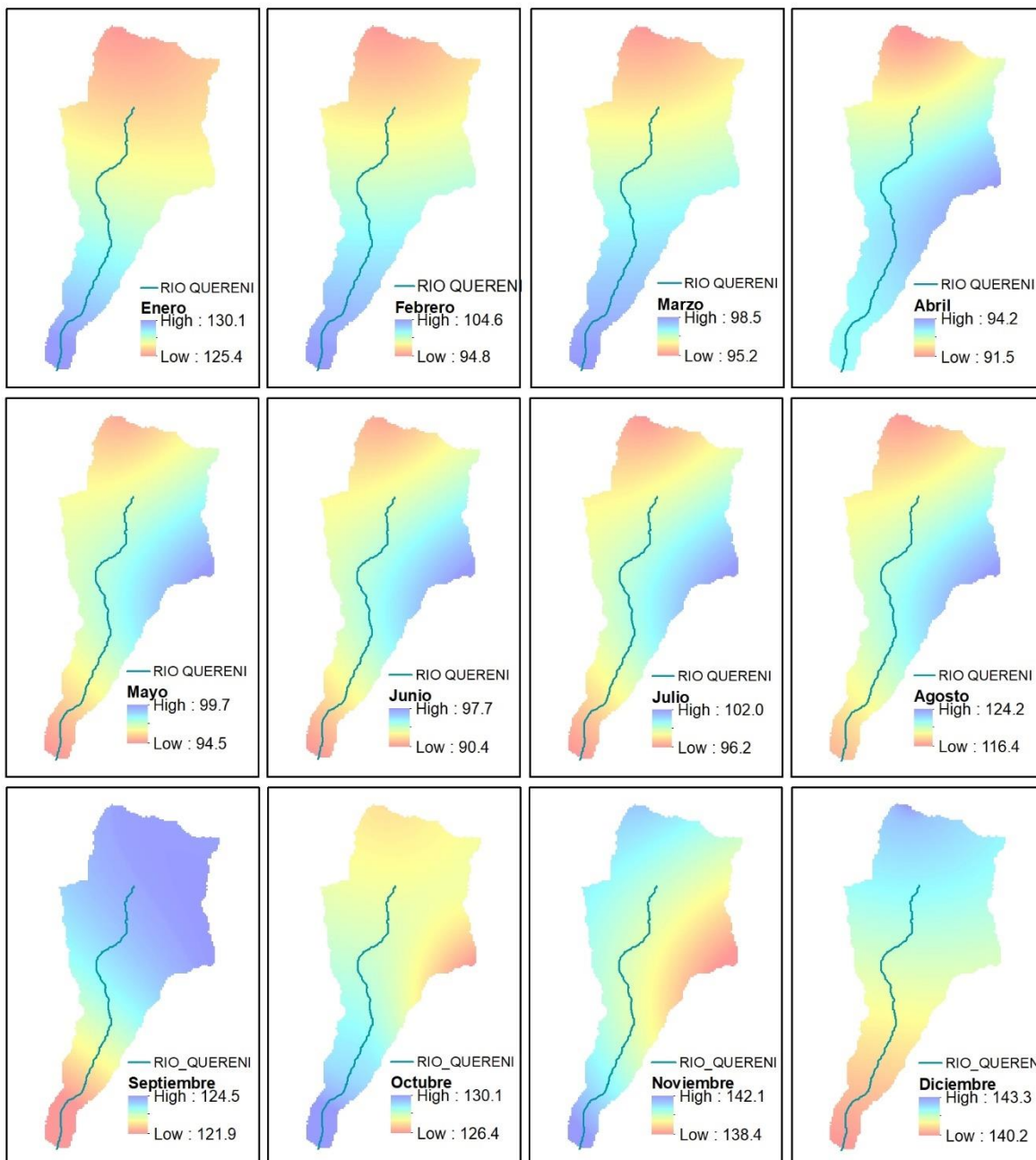
Elaboración propia

Fecha de elaboración : Agosto 2020

EVAPOTRANSPIRACIÓN (mm)- MÉTODO DE PENMAN MONTEITH

AÑO SECO 1999

PYTHON



Sistema de referencia : WGS 1984

Sistema de proyección : UTM

Zona : 19 S

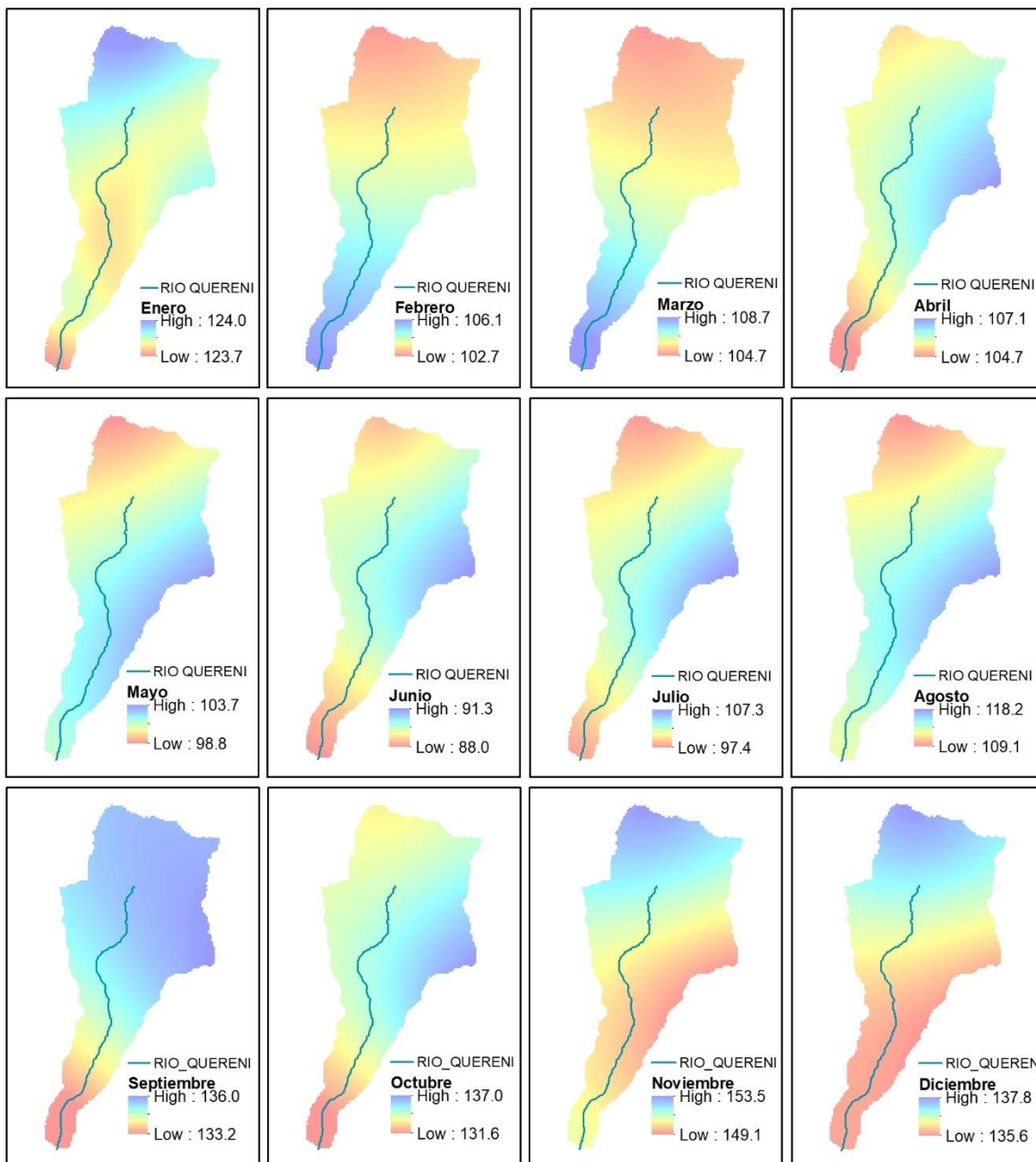
Elaboración propia

Fecha de elaboración : Agosto 2020

EVAPOTRANSPIRACIÓN (mm)- MÉTODO DE PENMAN MONTEITH

AÑO HÚMEDO 2000

PYTHON



Sistema de referencia : WGS 1984

Sistema de proyección : UTM

Zona : 19 S

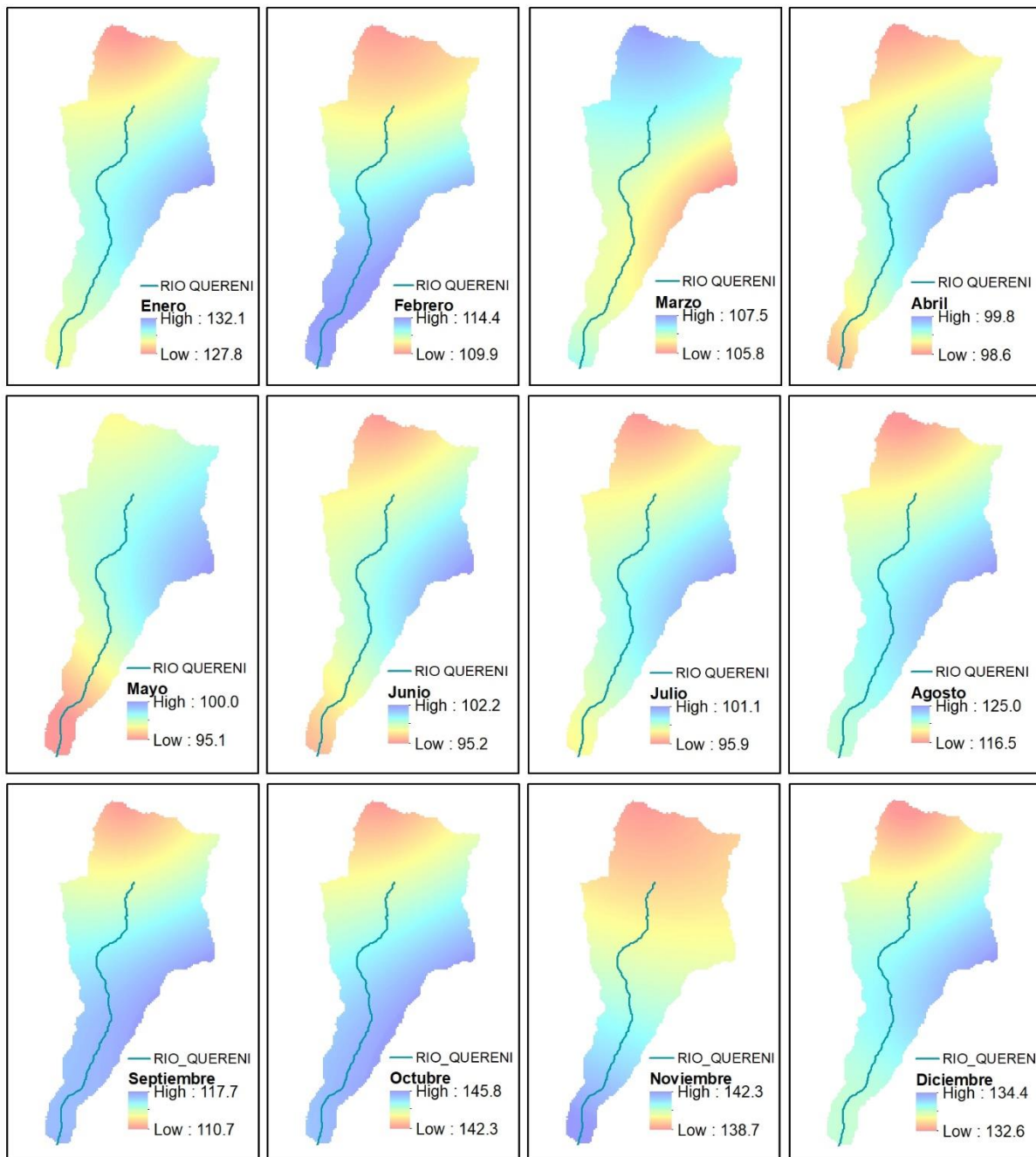
Elaboración propia

Fecha de elaboración : Agosto 2020

EVAPOTRANSPIRACIÓN (mm)- MÉTODO DE PENMAN MONTEITH

AÑO SECO 2007

PYTHON



Sistema de referencia : WGS 1984

Sistema de proyección : UTM

Zona : 19 S

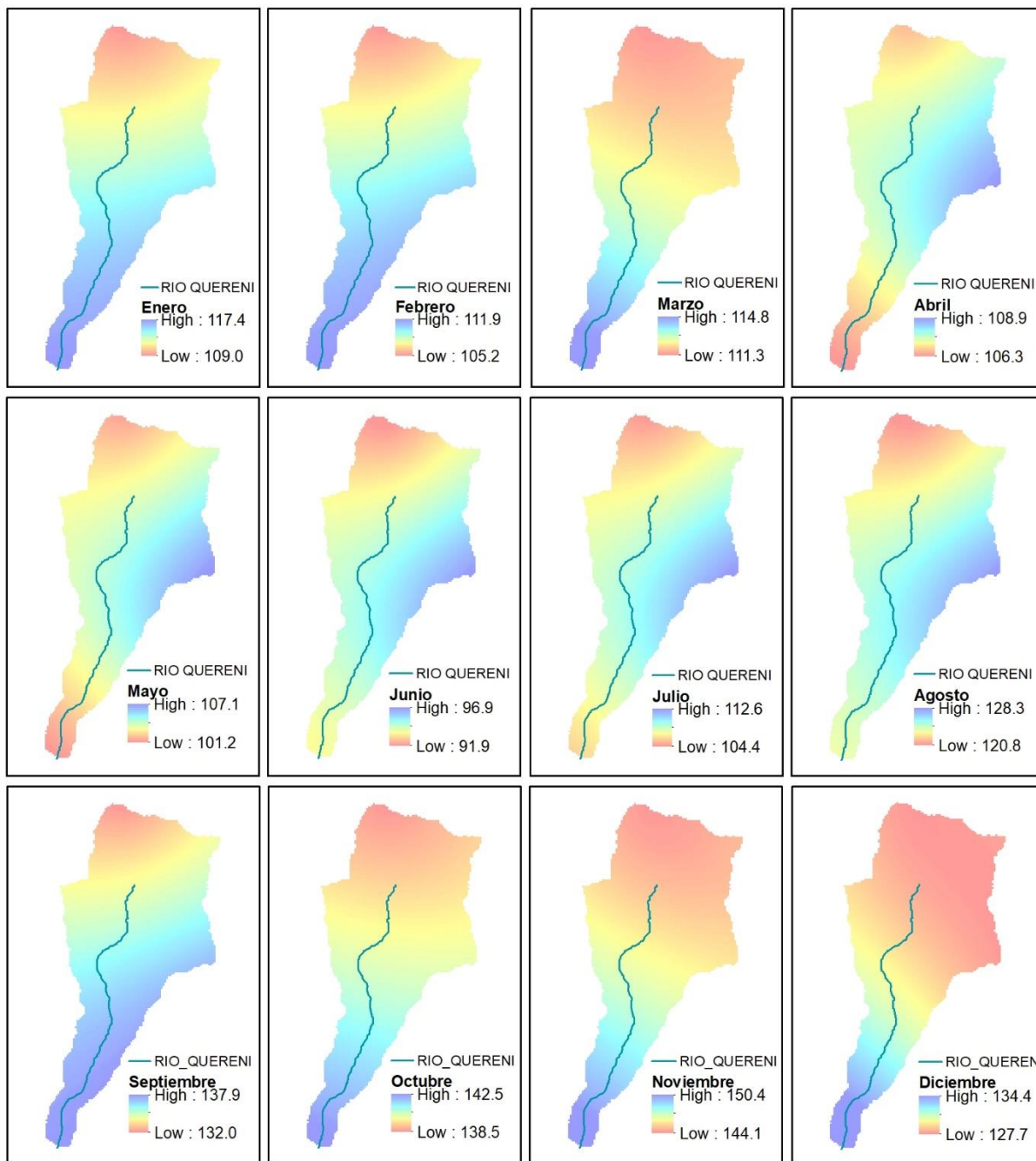
Elaboración propia

Fecha de elaboración : Agosto 2020

EVAPOTRANSPIRACIÓN (mm)- MÉTODO DE PENMAN MONTEITH

AÑO SECO 2008

PYTHON



Sistema de referencia : WGS 1984

Sistema de proyección : UTM

Zona : 19 S

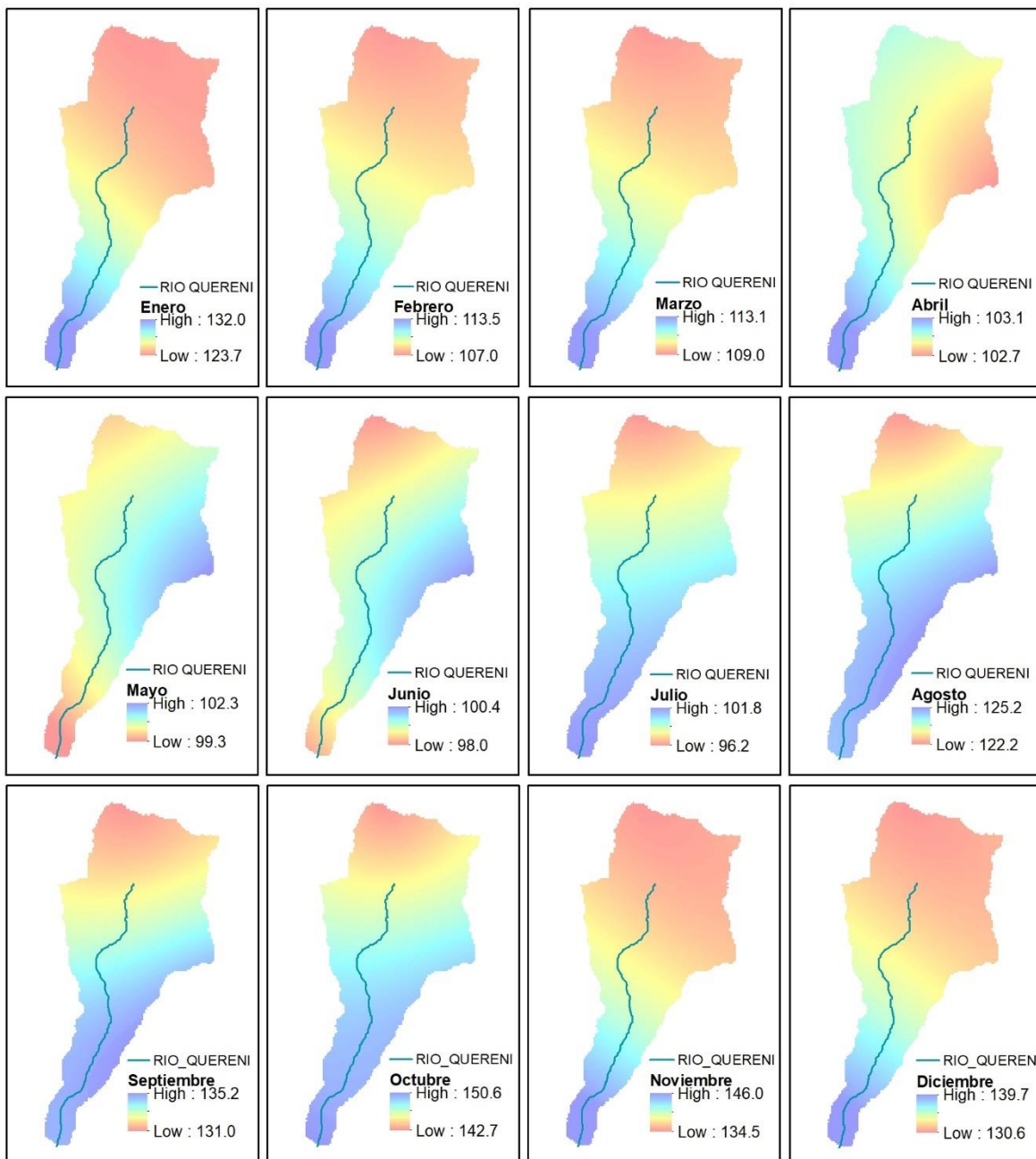
Elaboración propia

Fecha de elaboración : Agosto 2020

EVAPOTRANSPIRACIÓN (mm)- MÉTODO DE PENMAN MONTEITH

AÑO SECO 2009

PYTHON



Sistema de referencia : WGS 1984

Sistema de proyección : UTM

Zona : 19 S

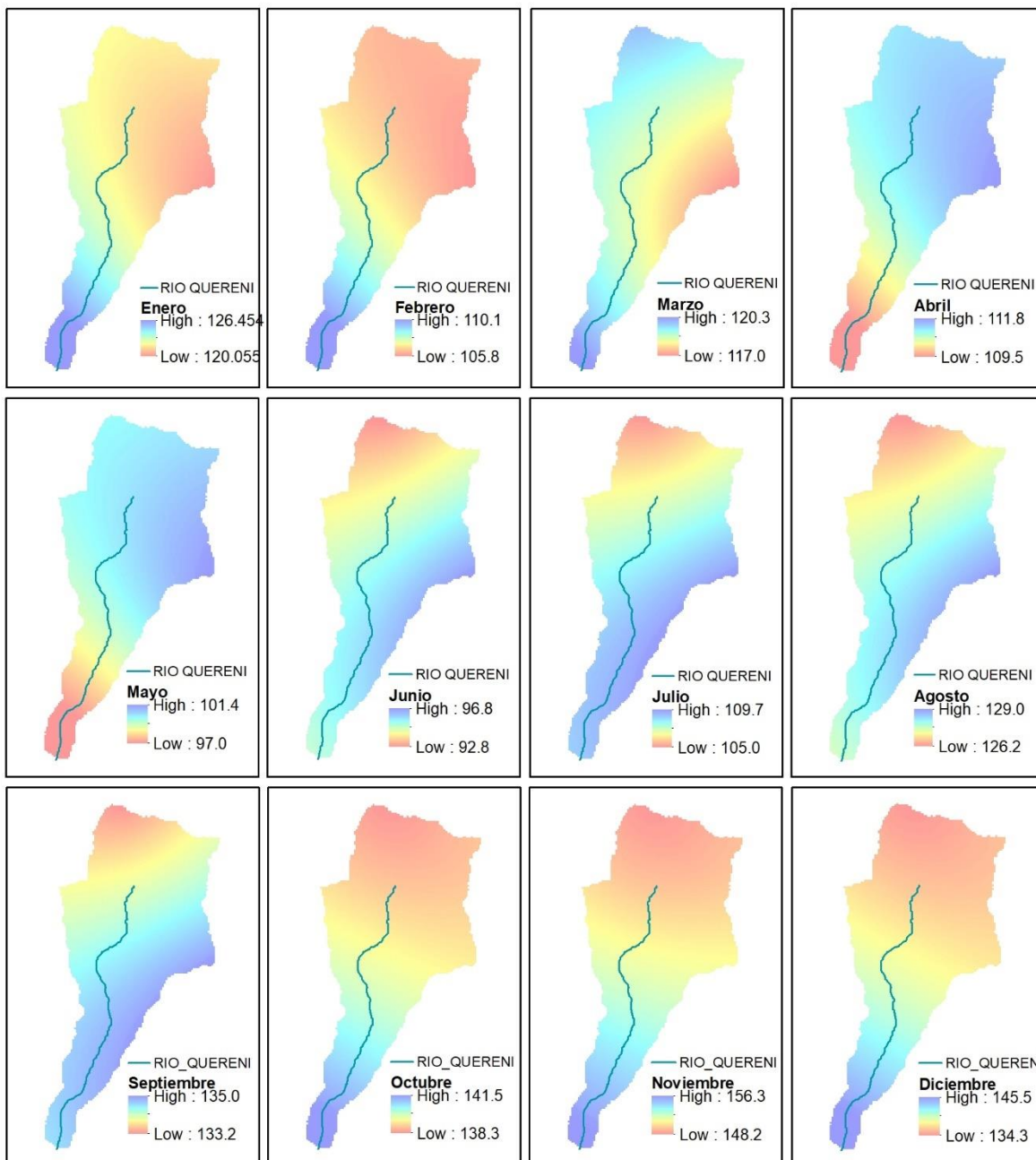
Elaboración propia

Fecha de elaboración : Agosto 2020

EVAPOTRANSPIRACIÓN (mm)- MÉTODO DE PENMAN MONTEITH

AÑO SECO 2010

PYTHON



Sistema de referencia : WGS 1984

Sistema de proyección : UTM

Zona : 19 S

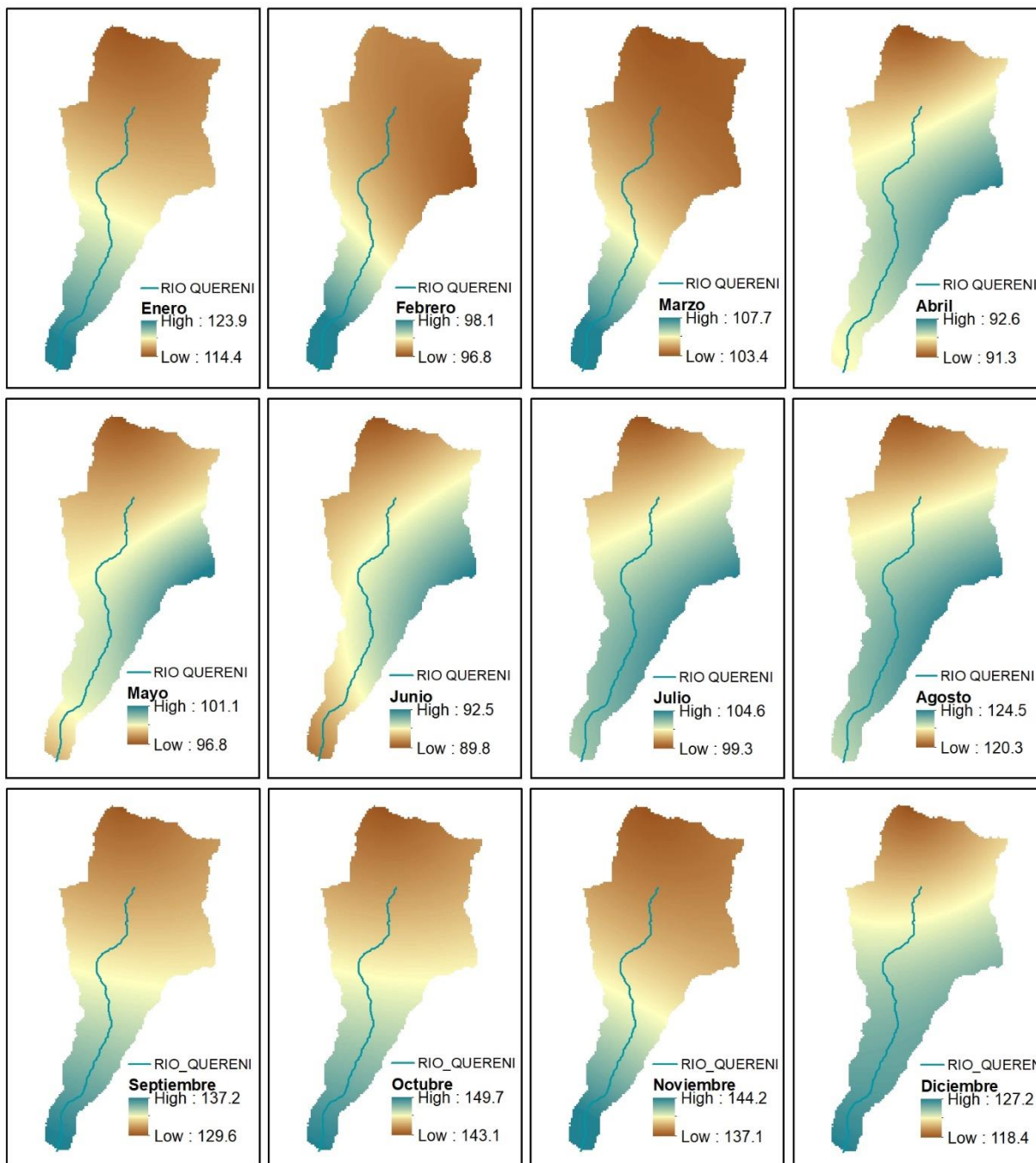
Elaboración propia

Fecha de elaboración : Agosto 2020

EVAPOTRANSPIRACIÓN (mm)- MÉTODO DE PENMAN MONTEITH

AÑO NORMAL 2012

PYTHON



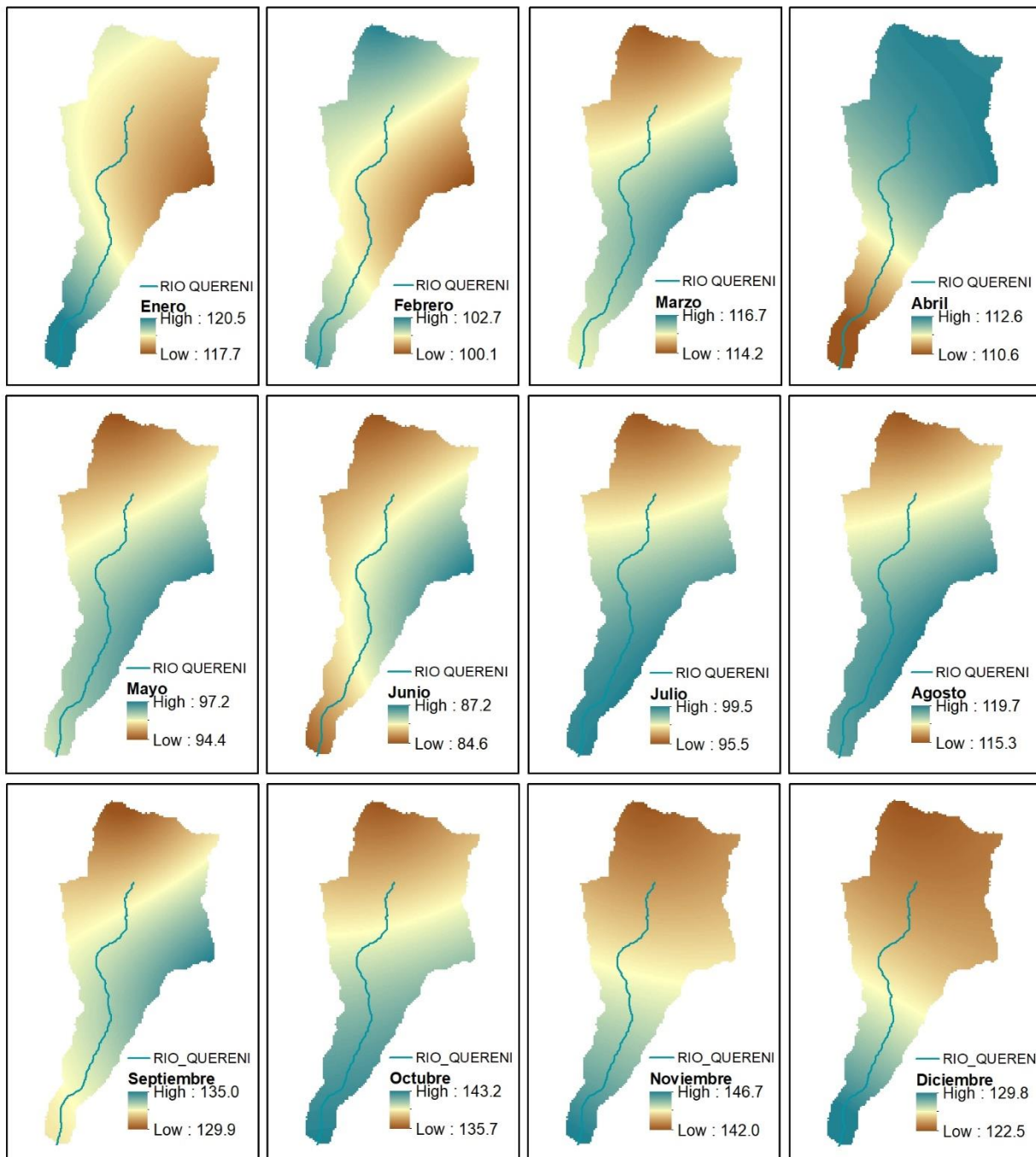
Sistema de referencia : WGS 1984
 Sistema de proyección : UTM
 Zona : 19 S

Elaboración propia
 Fecha de elaboración : Agosto 2020

EVAPOTRANSPIRACIÓN (mm)- MÉTODO DE PENMAN MONTEITH

AÑO NORMAL 2013

PYTHON



Sistema de referencia : WGS 1984

Sistema de proyección : UTM

Zona : 19 S

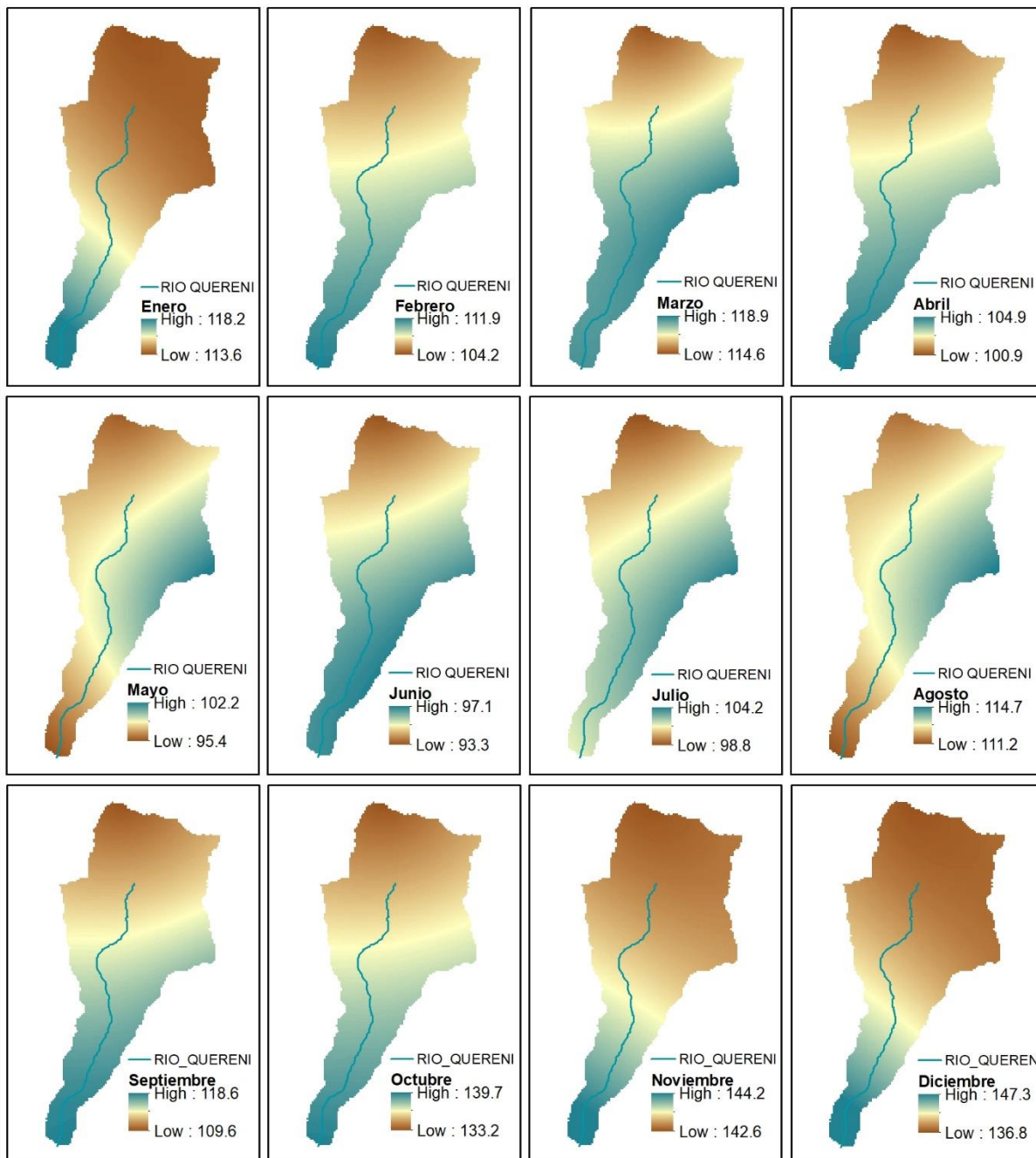
Elaboración propia

Fecha de elaboración : Agosto 2020

EVAPOTRANSPIRACIÓN (mm)- MÉTODO DE PENMAN MONTEITH

AÑO NORMAL 2014

PYTHON



Sistema de referencia : WGS 1984

Sistema de proyección : UTM

Zona : 19 S

Elaboración propia

Fecha de elaboración : Agosto 2020

1978

Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda										
Prec	232.561101175	132.042775633	101.837589269	41.4209862635	0.0352800303067	0.0352800303067	0.412940972418	15.5941748878	23.9611866149	8.16248118113	124.815192504	135.231680463		
Eto	63.9961817447	56.9130317835	59.43489059	50.3434386462	34.8682371587	24.2143715307	20.2874326303	35.15323006	41.5239374473	55.7774502599	62.2518653081	64.945867098		
Vra	168.564919431	75.1297438495	42.4026986787	-8.92245238273	-34.8329571284	-24.1790915004	-19.8744916579	-19.5590551722	-17.5627508325	-47.6149690788	62.5633271964	70.2858133651		
R	100	100	100	91.0775476173	56.2445904889	32.0654989885	12.1910073307	0	0	62.5633271964	100			
Vr	0	0	0	-8.92245238273	-34.8329571284	-24.1790915004	-19.8744916579	-12.1910073307	0	62.5633271964	37.4366728036			
Etr	63.9961817447	56.9130317835	59.43489059	50.3434386462	34.8682371587	24.2143715307	20.2874326303	27.7851822184	23.9611866149	8.16248118113	62.2518653081	64.945867098		
Deficit	0.0	0.0	0.0	0.0	3.5527136788e-15	0.0	-7.36804784155	-17.5627508325	-47.6149690788	0.0	0.0			
Excedencia	168.564919431	75.1297438495	42.4026986787	0	0	0	0	0	0.0	32.8491405614				
Recarga	92.4947448557	83.8122443526	63.1074715157	31.5537357578	15.7768678789	7.88843393946	3.94421696973	1.97210848486	0.986054242432	0.493027121216	0	16.4245702807		
ExcedenciaFinal	0.168564919431	0.0751297438495	0.0424026986787	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0328491405614				
Q	1568786.29626	699211.395767	394629.990844	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	305717.712384				

<

Lm 1, Col 1

80%

Windows (CRLF)

UTF-8

>

1979

Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda										
Prec	201.640294078	58.693528974	150.602784314	47.88833133	4.12419167085	0.0352800303067	21.4790798856	0.842652758664	10.9683522011	71.3862919294	42.086245606	165.434935995		
Eto	60.5205896642	56.6708557638	57.9853463941	47.4074465748	33.6269408134	29.9755273516	25.1389631698	32.3657489906	42.3686746084	57.1822940157	64.5581325422	65.4415247346		
Vra	141.119704414	2.02267321019	92.6174379197	0.480884755182	-29.5027491426	-29.9402473213	-3.65988328426	-31.5230962319	-31.4003224073	14.2039979137	-22.4718869362	99.99341126		
R	100	100	100	100	70.4972508574	40.5570035362	36.8971202519	0	0	14.2039979137	0	99.99341126		
Vr	0.00658873995471	0	0	0	-29.5027491426	-29.9402473213	-3.65988328426	-36.8971202519	0	14.2039979137	-14.2039979137	99.99341126		
Etr	60.5205896642	56.6708557638	57.9853463941	47.4074465748	33.6269408134	29.9755273516	25.1389631698	37.7397730106	10.9683522011	57.1822940157	56.2902435198	65.4415247346		
Deficit	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.37402402	-31.4003224073	0.0	-8.26788902246	0.0			
Excedencia	141.113115674	2.02267321019	92.6174379197	0.480884755182	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0			
Recarga	70.556557837	36.2896155236	64.4535267216	32.4672057384	16.2336028692	8.1168014346	4.0584007173	2.02920035865	1.01460017933	0.507300089663	0.253650044831	0		
ExcedenciaFinal	0.141113115674	0.00202267321019	0.0926174379197	0.000480884755182	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
Q	1313300.07951	18824.4506904	861964.446064	4475.45916764	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		

1981

Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda
Prec	126.520516162	127.223494311	89.2359835168	63.5347676765
Eto	65.5839016412	54.4248142178	57.1972604555	42.514517282
Vra	60.9366145204	72.798680093	32.0387230613	21.0202503946
R	84.1197810162	100	100	100
Vr	60.9366145204	15.8802189838	0	-100
Etr	65.5839016412	54.4248142178	57.1972604555	42.514517282
Deficit	0.0	0.0	0.0	0.0
Xcedencia	0.0	56.9184611092	32.0387230613	21.0202503946
Recarga	0.0	28.4592385546	30.2489768079	25.6346136012
XcedenciaFinal	0.0	0.0569184611092	0.0320387230613	0.0210202503946
Q	0.0	529724.109226	298175.38464	195629.558477

<

Lm 1, Col 1

80%

Windows (CRLF)

UTF-8

>

1985

	Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda								
Prec	146.214862957	82.0333328247	60.7154563885	42.7020881221	10.783073366	12.2722926052	0.133050442431	13.3019284829	46.4915092494	23.4483313847	137.866668701	132.365697292	
Eto	61.0229666591	53.2086960488	57.2987646281	49.8090348286	41.4164116157	27.8392892829	20.2995398979	36.4148167838	46.7987581702	57.2012095614	53.168917781	60.7422771987	
Vra	85.1918962976	28.8246367759	3.41669176045	-7.10694670643	-30.6333382496	-15.5669966777	-20.1664894555	-23.112888301	-0.307248920793	-33.7528781767	84.6977509201	71.6234200936	
R	100	100	100	92.8930532936	62.2597150439	46.6927183662	26.5262289108	3.41334060979	3.106091689	0	84.6977509201	100	
Vr	0	0	0	-7.10694670643	-30.6333382496	-15.5669966777	-20.1664894555	-23.112888301	-0.307248920793	-3.106091689	84.6977509201	15.3022490799	
Etr	61.0229666591	53.2086960488	57.2987646281	49.8090348286	41.4164116157	27.8392892829	20.2995398979	36.4148167838	46.7987581702	26.5544230737	53.168917781	60.7422771987	
Deficit	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-30.6467864877	0.0	0.0			
Excedencia	85.1918962976	28.8246367759	3.41669176045	0	0	0	0	0	0	56.3211710138			
Recarga	56.6762409022	42.7504388391	23.0835652998	11.5417826499	5.77089132494	2.88544566247	1.44272283124	0.721361415618	0.360680707809	0.180340353904	0	28.1605855069	
ExcedenciaFinal	0.0851918962976	0.0288246367759	0.00341669176045	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0563211710138		
Q	792857.01862	268262.787544	31798.18927	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	524165.298296			

<

Lm 1, Col 1

80%

Windows (CRLF)

UTF-8

>

10

Prec	88.853858051	76.339508404	86.5743178982	23.32973444	2.20018740025	0.00352800289887	3.47514938893	0.247764583449	61.3231816951	61.1996575689	22.1426029532	28.6980093011	
Eto	63.6300495448	54.4904571297	57.2427188163	49.2796037009	38.2150208677	22.9485259104	27.3893609168	33.9471392747	39.4921615608	53.5124462152	57.610481736	67.5818348696	
Vra	25.223362603	21.8490512743	29.3315990819	-25.944869261	-36.0148334675	-22.9449979076	-23.9142115279	-33.6993746643	21.8310201343	7.68721135371	-35.4678787029	-38.8838255685	
R	25.223362603	47.0723875345	76.4039866164	50.4541173554	14.4392838879	0	21.8310201343	29.5182314881	0	0	0	0	
Vr	25.223362603	21.8490512743	29.3315990819	-25.944869261	-36.0148334675	-14.4392838879	0	0	21.8310201343	7.68721135371	-29.5182314881	0	
Etr	63.6300495448	54.4904571297	57.2427188163	49.2796037009	38.2150208677	14.4428118908	3.47514938893	0.247764583449	39.4921615608	53.5124462152	51.6608344412	28.6980093011	
Deficit 0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-7.1054273576e-15	0.0	-8.50571401962	-23.9142115279	-33.6993746643	0.0	0.0	-5.94967249842	-38.8838255685
Excedencia 0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.1054273576e-15	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Recarga 0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.5527136788e-15	1.7763568394e-15	8.881784197e-16	4.4008920985e-16	2.2044604925e-16	1.1022302463e-16	5.55111512313e-17	2.77555756156e-17	0.0
ExcedenciaFinal 0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.1054273576e-18	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Q 0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.61282140157e-11	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

^

v

[illegible]

2007

[illegible]

2008

Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda															
Prec	138.029039782	45.5396057461	62.4466090361	5.12370909421	1.71674855827	2.31426395481	0.00352800289887	0.900884249126	1.78079536275	23.3168623555	21.6832539528	104.435817166							
Eto	62.9565280415	55.3111670766	55.4273691608	45.8244528013	29.4095404611	26.5661352223	25.069019309	32.4236326335	43.0624282162	56.3401738284	66.4759133569	65.6420987055							
Vra	75.072511741	-9.77156133048	7.01923987535	-40.7007437071	-27.6927919028	-24.2518712675	-25.0654913061	-31.5227483843	-41.2816328535	-33.0233114729	-44.7926594041	38.793718461							
R	100	90.2284386695	97.2476785449	56.5469348378	28.854142935	4.60227166748	0	0	0	0	38.793718461								
Vr	61.206281539	-9.77156133048	7.01923987535	-40.7007437071	-27.6927919028	-24.2518712675	-4.60227166748	0	0	0	38.793718461								
Etr	62.9565280415	55.3111670766	55.4273691608	45.8244528013	29.4095404611	26.5661352223	4.60579967038	0.900884249126	1.78079536275	23.3168623555	21.6832539528	65.6420987055							
Deficit	0.0	7.1054273576e-15	0.0	0.0	0.0	3.5527136788e-15	-20.4632196386	-31.5227483843	-41.2816328535	-33.0233114729	-44.7926594041	0.0							
Excedencia	13.866230202	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0									
Recarga	6.933115101	3.4665575505	1.73327877525	0.866639387625	0.433319693812	0.216659846906	0.108329923453	0.0541649617266	0.0270824808633	0.0135412404316	0.00677062021582	0							
ExcedenciaFinal	0.013866230202	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0									
Q	129049.104613	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0									
										Lm 1, Col 1	80%	Windows (CRLF)	UTF-8						

2009

Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda																								
Prec	68.4646518624	73.0474552304	45.3455492528	15.8321030065	0.198211674615	0.00352800289887	8.05064417492	1.48176118261	7.43371503889	20.3028737429	43.5035621621	95.1799608587																
Eto	63.3185690901	54.2891152	55.1202632515	45.9951717618	34.5479255385	17.3594909426	25.0262542649	28.0569174686	46.0031805541	63.0649521199	66.2838850808	68.3622080055																
Vra	5.14608277237	18.7583400304	-9.77471399874	-30.1630687553	-34.3497138639	-17.3559629397	-16.97561009	-26.575156286	-38.5694655152	-42.7620783769	-22.7803229187	26.8177528533																
R	31.9638356256	50.722175656	40.9474616573	10.784392902	0	0	0	0	0	0	26.8177528533																	
Vr	5.14608277237	18.7583400304	-9.77471399874	-30.1630687553	-10.784392902	0	0	0	0	0	0	26.8177528533																
Etr	63.3185690901	54.2891152	55.1202632515	45.9951717618	10.9826045766	0.00352800289887	8.05064417492	1.48176118261	7.43371503889	20.3028737429	43.5035621621	68.3622080055																
Deficit	0.0	0.0	0.0	0.0	-23.5653209619	-17.3559629397	-16.97561009	-26.575156286	-38.5694655152	-42.7620783769	-22.7803229187	0.0																
Excedencia	0.0	0.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0																
Recarga	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0																
ExcedenciaFinal	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0																
Q	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0																

<

>

Lm 1, Col 1

80%

Windows (CRLF)

UTF-8

2010

Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda																								
Prec	125.716613487	109.250472057	25.0185329039	21.782016008	29.0315748042	0.00352800289887	3.48075004642	7.50126693116	5.50000440059	49.8333320618	15.3823129988	57.3369888737																
Eto	65.0277033124	58.1911892374	57.9242476421	48.9296354844	36.8451671259	31.0471768438	25.3940605553	34.29554916	43.2212792796	54.195530638	57.7561129353	66.186247513																
Vra	60.6889101747	51.0592828197	-32.9057147382	-27.1476194764	-7.81359232169	-31.0436488409	-21.9133105088	-26.7942822289	-37.721274879	-4.36219857623	-42.3737999365	-8.84925863931																
R	60.6889101747	100	67.0942852618	39.9466657853	32.1330734636	1.08942462277	0	0	0	0	0	0																
Vr	60.6889101747	39.3110898253	-32.9057147382	-27.1476194764	-7.81359232169	-31.0436488409	-1.08942462277	0	0	0	0	0																
Etr	65.0277033124	58.1911892374	57.9242476421	48.9296354844	36.8451671259	31.0471768438	4.57017466919	7.50126693116	5.50000440059	49.8333320618	15.3823129988	57.3369888737																
Deficit	0.0	0.0	0.0	0.0	-20.8238858861	-26.7942822289	-37.721274879	-4.36219857623	-42.3737999365	-8.84925863931																		
Excedencia	0.0	11.7481929943	0	0	0	0	0	0	0	0																		
Recarga	0.0	5.87409649716	2.93704824858	1.46852412429	0.734262062145	0.367131031072	0.183565515536	0.0917827577681	0.045891378884	0.022945689442	0.011472844721	0																
ExcedenciaFinal	0.0	0.0117481929943	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0																
Q	0.0	109337.128019	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0																

<

>

Lm 1, Col 1

80%

Windows (CRLF)

UTF-8

2012

Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda															
Prec	113.630911414	99.3470226268	103.739390101	29.2747438924	0.00352800289887	0.00352800289887	6.67541801726	0.363388063586	6.40291151344	12.4850532487	33.488252234	100.780743436							
Eto	62.0533591018	51.5725551401	54.1868914509	47.4496723088	32.5256097348	24.8293424628	26.1761278074	31.2604340096	45.9791805313	58.8437876694	64.4622708073	64.6995899586							
Vra	51.5775523124	47.7744674867	49.5524986499	-18.1749284164	-32.5220817319	-24.8258144599	-19.5007097902	-30.897045946	-39.5762690179	-46.3587344208	-30.9740185733	36.0811534776							
R	87.65870579	100	100	81.8250715836	49.3029898516	24.4771753918	4.97646560162	0	0	0	0	36.0811534776							
Vr	51.5775523124	12.34129421	0	-18.1749284164	-32.5220817319	-24.8258144599	-19.5007097902	-4.97646560162	0	0	0	36.0811534776							
Etr	62.0533591018	51.5725551401	54.1868914509	47.4496723088	32.5256097348	24.8293424628	26.1761278074	5.3398536652	6.40291151344	12.4850532487	33.488252234	64.6995899586							
Deficit	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-25.9205803444	-39.5762690179	-46.3587344208	-30.9740185733	0.0								
Excedencia	-7.1054273576e-15	35.4331732767	49.5524986499	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0							
Recarga	-3.5527136788e-15	17.7165866383	33.6345426441	16.8172713221	8.40863566104	4.20431783052	2.10215891526	1.05107945763	0.525539728815	0.262769864407	0.131384932204	0							
ExcedenciaFinal	-7.1054273576e-18	0.0354331732767	0.0495524986499	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0							
Q	-6.61282140157e-11	329766.578106	461171.168295	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0							

2013

Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda															
Prec	107.130336656	80.0348601981	39.3416769903	10.2182702546	28.9774380213	36.5741497326	7.62091398129	22.7080689751	0.851247577693	24.8935149678	19.7394505988	129.005375469							
Eto	59.7128463398	54.0938596616	58.8337425121	43.6327936419	39.8108971247	26.9845491041	31.5410291175	33.2172871999	41.4236614941	55.0203555605	62.1640014328	63.7972567762							
Vra	47.4174903158	25.9410005366	-19.4920655219	-33.4145233872	-10.8334591034	9.58960062841	-23.9201151362	-10.5092182248	-40.5724139164	-30.1268405927	-42.424550834	65.2081186932							
R	100	100	80.5079344781	47.0934110909	36.2599519875	45.8495526159	21.9294374797	11.4202192549	0	0	0	65.2081186932							
Vr	34.7918813068	0	-19.4920655219	-33.4145233872	-10.8334591034	9.58960062841	-23.9201151362	-10.5092182248	-11.4202192549	0	0	65.2081186932							
Etr	59.7128463398	54.0938596616	58.8337425121	43.6327936419	39.8108971247	26.9845491041	31.5410291175	33.2172871999	12.2714668326	24.8935149678	19.7394505988	63.7972567762							
Deficit	0.0	0.0	0.0	7.1054273576e-15	0.0	0.0	0.0	-29.1521946614	-30.1268405927	-42.424550834	0.0								
Excedencia	12.625609009	25.9410005366	0	0	0	3.5527136788e-15	0	0	0	0	0	0.0							
Recarga	6.31280450448	16.1269025205	8.06345126026	4.03172563013	2.01586281507	1.00793140753	0.503965703766	0.251982851883	0.125991425942	0.0629957129708	0.0314978564854	0							
ExcedenciaFinal	0.012625609009	0.0259410005366	0.0	0.0	0.0	3.5527136788e-18	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0							
Q	117502.992094	241425.596087	0.0	0.0	0.0	3.30641070079e-11	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0							

2014

Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda															
Prec	134.643812504	56.3745826666	61.6758320255	34.3707932265	24.8755380666	0.00352800289887	0.858917190762	19.5931680582	43.2674598034	39.9142045083	18.9207208012	93.517580534							
Eto	59.7381202252	53.8351432044	55.5728107288	48.3042814687	36.6459237093	28.061646183	25.120078754	35.064735462	49.4161447107	55.7121212616	59.4620726647	66.0153481271							
Vra	74.9056922791	2.53943946215	6.10302129665	-13.9334882422	-11.7703856426	-28.0581181801	-24.2611615632	-15.4715674038	-6.14868490736	-15.7979167533	-40.5413518635	27.5022324069							
R	100	100	100	86.0665117578	74.2961261152	46.2380079351	21.9768463719	6.505278968	0.356594060638	0	0	27.5022324069							
Vr	72.4977675931	0	0	-13.9334882422	-11.7703856426	-28.0581181801	-24.2611615632	-15.4715674038	-6.14868490736	-0.356594060638	0	27.5022324069							
Etr	59.7381202252	53.8351432044	55.5728107288	48.3042814687	36.6459237093	28.061646183	25.120078754	35.064735462	49.4161447107	40.270798569	18.9207208012	66.0153481271							
Deficit	0.0	0.0	0.0	-7.1054273576e-15	0.0	0.0	0.0	0.0	-15.4413226926	-40.5413518635	0.0								
Excedencia	2.40792468602	2.53943946215	6.10302129665	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0							
Recarga	1.20396234301	1.87170090258	3.98736109962	1.99368054981	0.996840274904	0.498420137452	0.249210068726	0.124605034363	0.0623025171815	0.0311512585908	0.0155756292954	0							
ExcedenciaFinal	0.00240792468602	0.00253943946215	0.00610302129665	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0							
Q	22409.877824	23633.8488569	56799.1027332	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0								

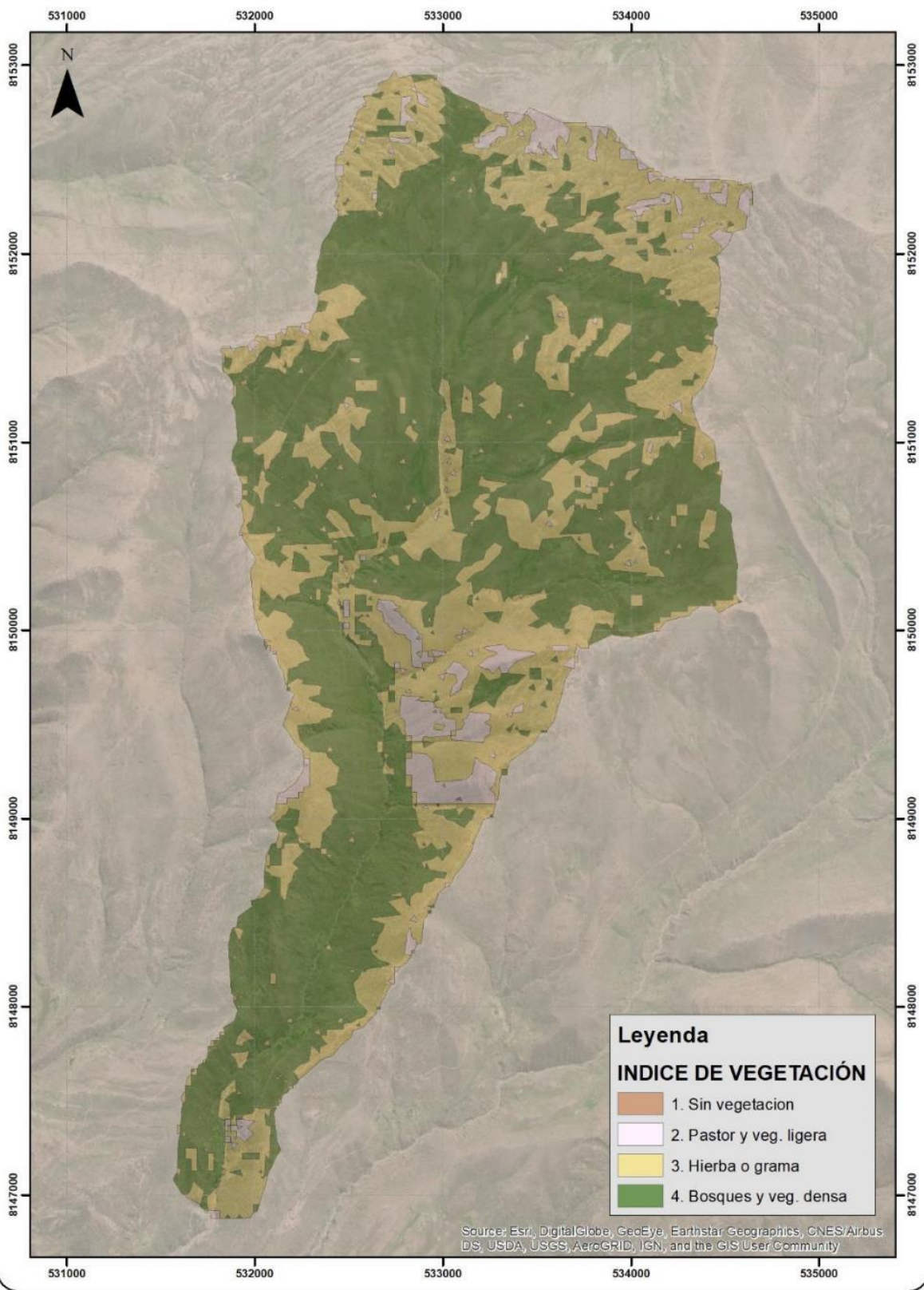
Lm 1, Col 1

80%

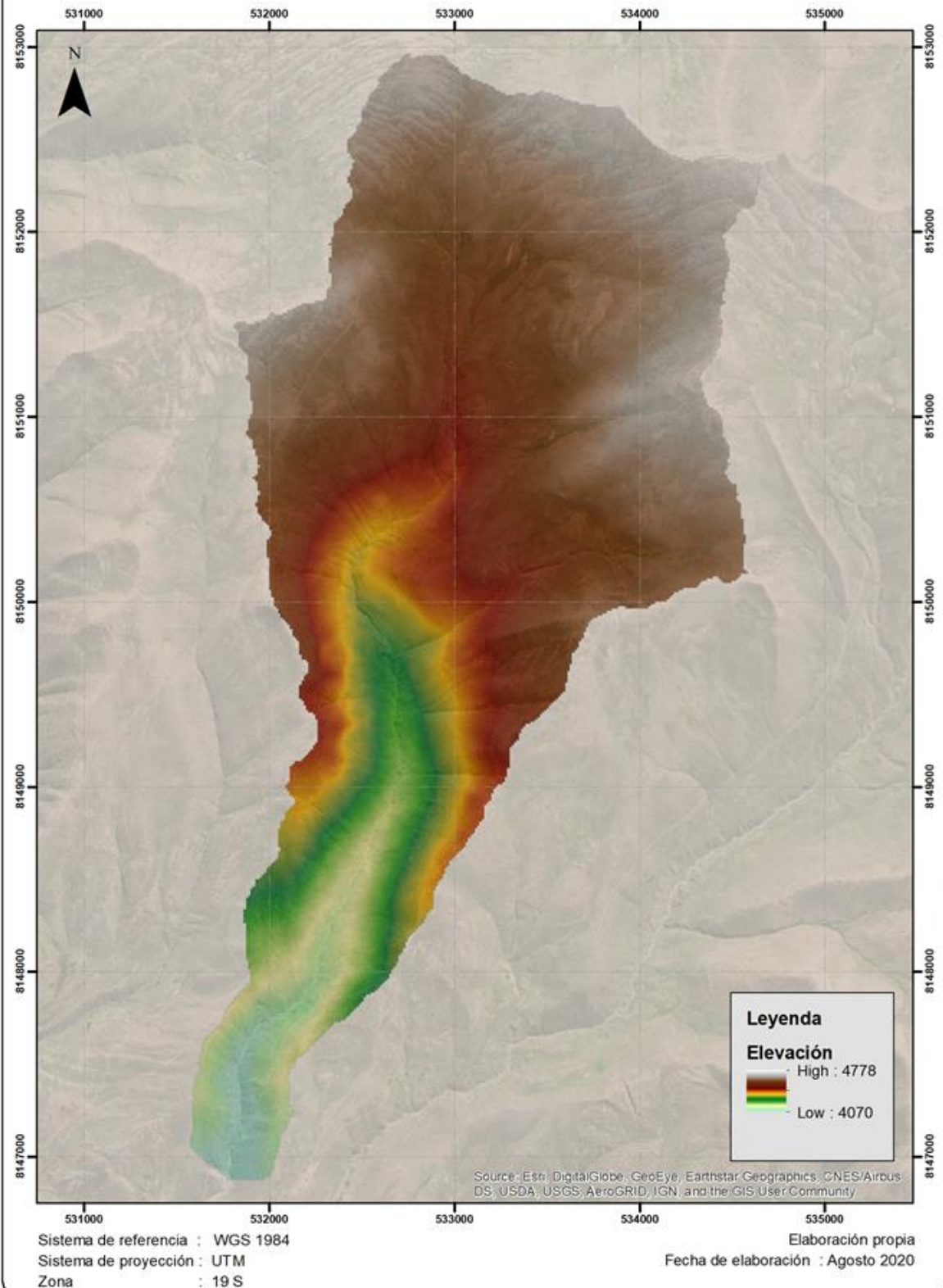
Windows (CRLF)

UTF-8

ÍNDICE DE VEGETACIÓN DE DIFERENCIA NORMALIZADA (NDVI)



MAPA DE ELEVACIÓN - CUENCA QUERENI



ANEXO G

**Guía para la utilización de la
herramienta: DCC_ETO_BH_Q**



ANEXO G: GUIA PARA LA UTILIZACIÓN DE LA HERRAMIENTA DCC_ETO_BH_Q

a) Cálculo de la evapotranspiración (Método Thornthwaite), Balance Hidrico y Escorrentía

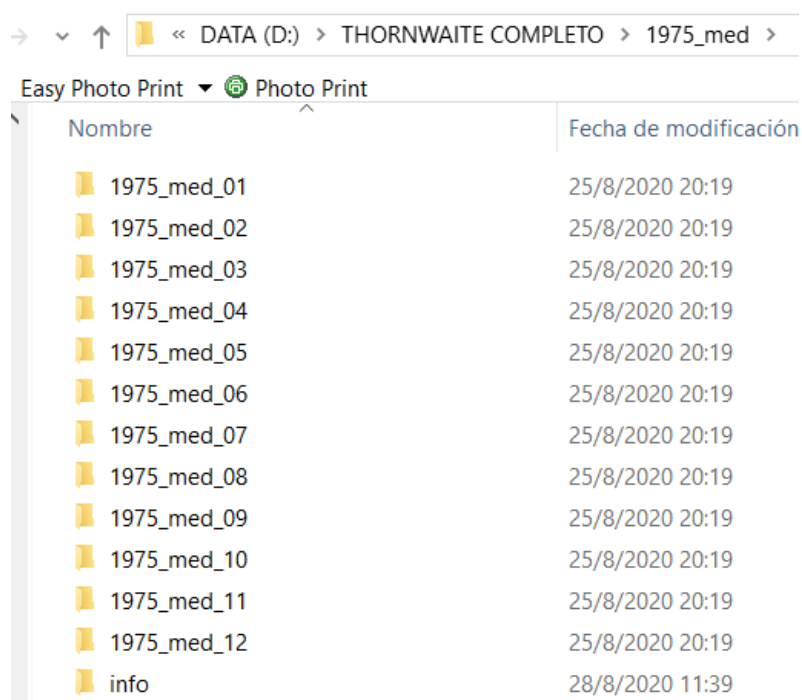
1. Ingresar las variables de entrada:

Área en km²

Latitud en grados decimales

Temperatura: temperatura mensual en formato ráster, puede estar o no recortado según el área de estudio, con la siguiente denominación en los nombres de las carpetas (ejemplo para el año 1975).

FIGURA 44. DATOS DE ENTRADA DE TEMPERATURA MENSUAL (1975)



Nombre	Fecha de modificación
1975_med_01	25/8/2020 20:19
1975_med_02	25/8/2020 20:19
1975_med_03	25/8/2020 20:19
1975_med_04	25/8/2020 20:19
1975_med_05	25/8/2020 20:19
1975_med_06	25/8/2020 20:19
1975_med_07	25/8/2020 20:19
1975_med_08	25/8/2020 20:19
1975_med_09	25/8/2020 20:19
1975_med_10	25/8/2020 20:19
1975_med_11	25/8/2020 20:19
1975_med_12	25/8/2020 20:19
info	28/8/2020 11:39

Fuente: Elaboración propia (2020)

Precipitación: Precipitación mensual en formato ráster, puede estar o no recortado según el área de estudio, con la siguiente denominación en los nombres de las carpetas (ejemplo para el año 1975)

FIGURA 45. DATOS DE ENTRADA DE PRECIPITACIÓN MENSUAL (1975)

Nombre	Fecha de modificación
1975p_01	25/8/2020 20:20
1975p_02	25/8/2020 20:20
1975p_03	25/8/2020 20:20
1975p_04	25/8/2020 20:20
1975p_05	25/8/2020 20:20
1975p_06	25/8/2020 20:20
1975p_07	25/8/2020 20:20
1975p_08	25/8/2020 20:20
1975p_09	25/8/2020 20:20
1975p_10	25/8/2020 20:20
1975p_11	25/8/2020 20:20
1975p_12	25/8/2020 20:20
info	28/8/2020 11:39

Fuente: Elaboración propia (2020)

Resultados: crear una nueva carpeta.

Área de Estudio: Delimitación de la cuenca en formato shapefile (extensión .shp).

Archivo Excel: son los factores de corrección para el método de Thornthwaite.

Sistema de coordenadas: Definir el sistema de referencia, sistema de proyección y la zona.

FIGURA 46. SCRIPT PARA EL CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN (THORNTHWAITE), BALANCE HÍDRICO Y ESCORRENTÍA

```

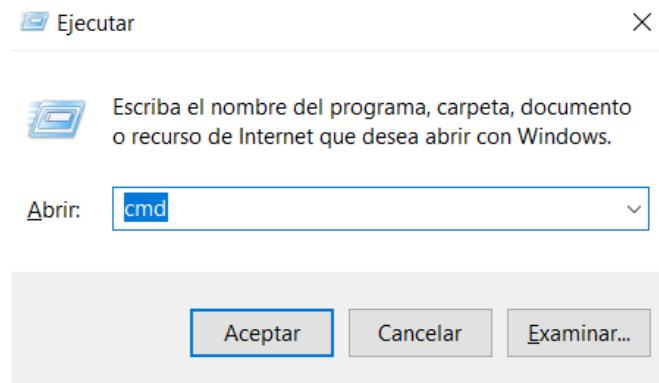
1  #-----
2  #HERRAMIENTA:          DCC ETO_BH_Q
3  #TITULO:               CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN THORNTHWAITE-BALANCE HÍDRICO Y ESCORRENTIA
4  #AUTOR:                DIANA CARLA CHOQUE CALLE
5  #CORREO ELECTRONICO:   dianatletismo@gmail.com
6  #INSTITUCION:          ESCUELA MILITAR DE INGENIERIA (EMI)
7  #FECHA DE ELABORACION: AGOSTO 2020
8  #ORIGEN:               LA PAZ - BOLIVIA
9  #-----
10 import os, arcpy, subprocess, sys, glob
11 from arcpy import env
12 from arcpy.sa import *
13 import xlrd
14 arcpy.env.overwriteOutput = True
15 os.system("cls")
16
17
18 areaCuenca          = 9.30671875
19 latitud             = 16.5686111
20 carpetaTemperatura  = r"D:\THORNTHWAITE COMPLETO\1975_med"
21 precipitacion       = r"D:\THORNTHWAITE COMPLETO\Precipitacion\1975"
22 resultados          = r"D:\THORNTHWAITE COMPLETO\RESULTADOS1975"
23
24 areaEstudio         = r"D:\THORNTHWAITE COMPLETO\Area de estudio\DELIMITACION.shp"
25 archivoExcel        = r'D:\THORNTHWAITE COMPLETO\FOTOMETRIA SEGUN LATITUD SUR.xls'
26 out_coordinate_system = "WGS 1984 UTM Zone 19S"
27

```

Fuente: Elaboración propia (2020)

- Una vez teniendo las direcciones de las carpetas, proceder a ejecutar con el comando Windows + R y escribir "cmd".

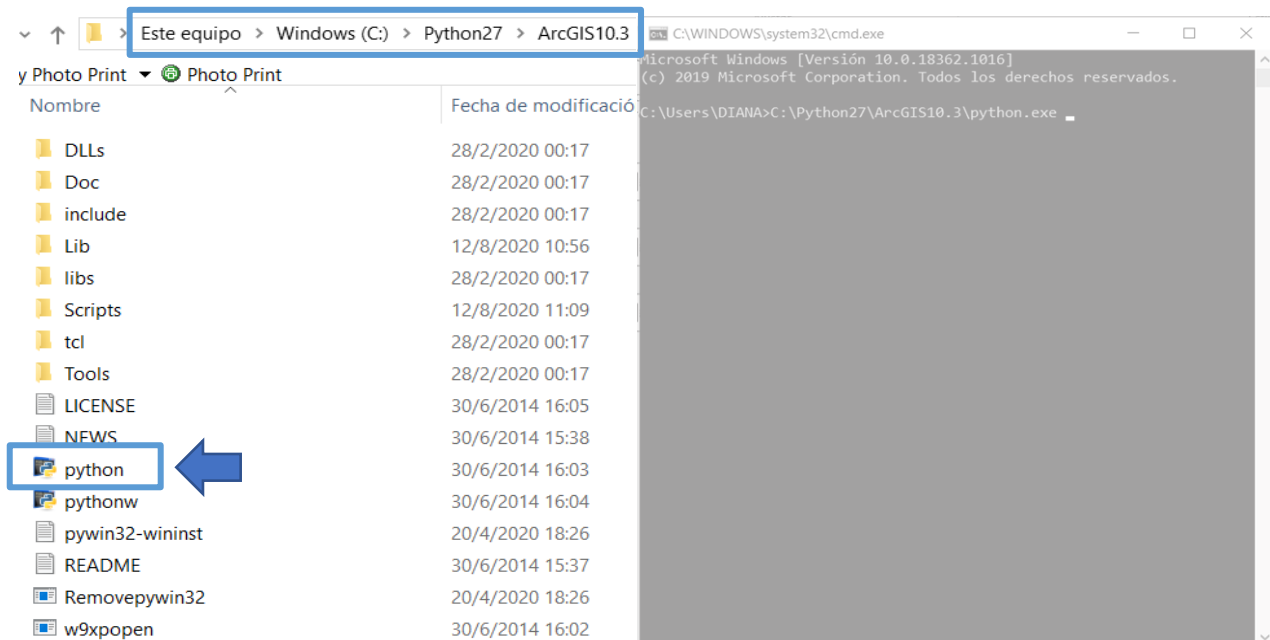
FIGURA 47. COMANDO DE WINDOWS



Fuente: WINDOWS 7

- En el ejecutor primero copiar el script propio de Python, que lo encontramos en la siguiente dirección:

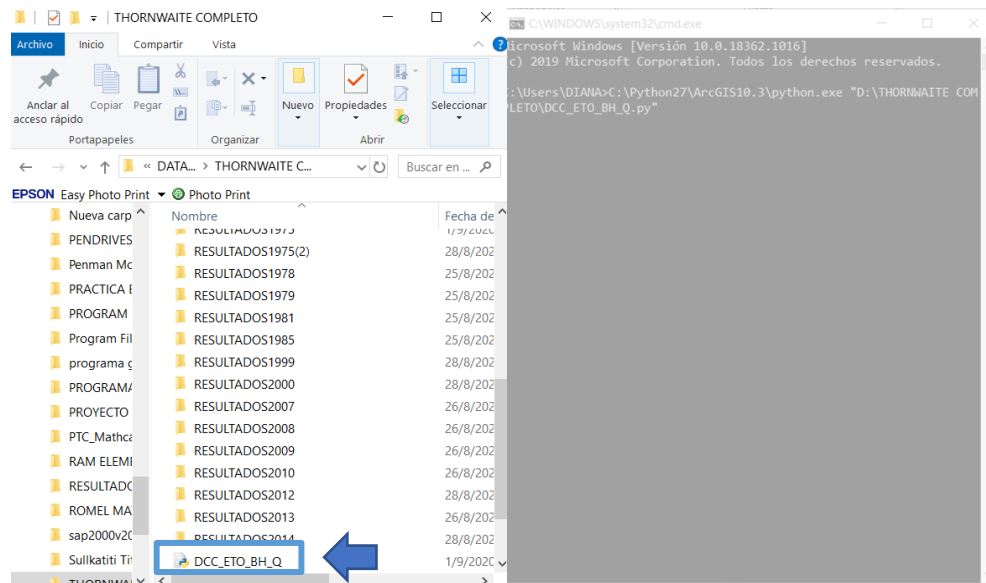
FIGURA 48. EJECUCIÓN DEL PROGRAMA (SCRIPT PYTHON)



Fuente: Elaboración propia (2020)

4. Posteriormente se copia el script guardado en el misma ventana emergente

FIGURA 49. EJECUCIÓN DEL PROGRAMA (SCRIPT DCC_ETO_BH_Q)



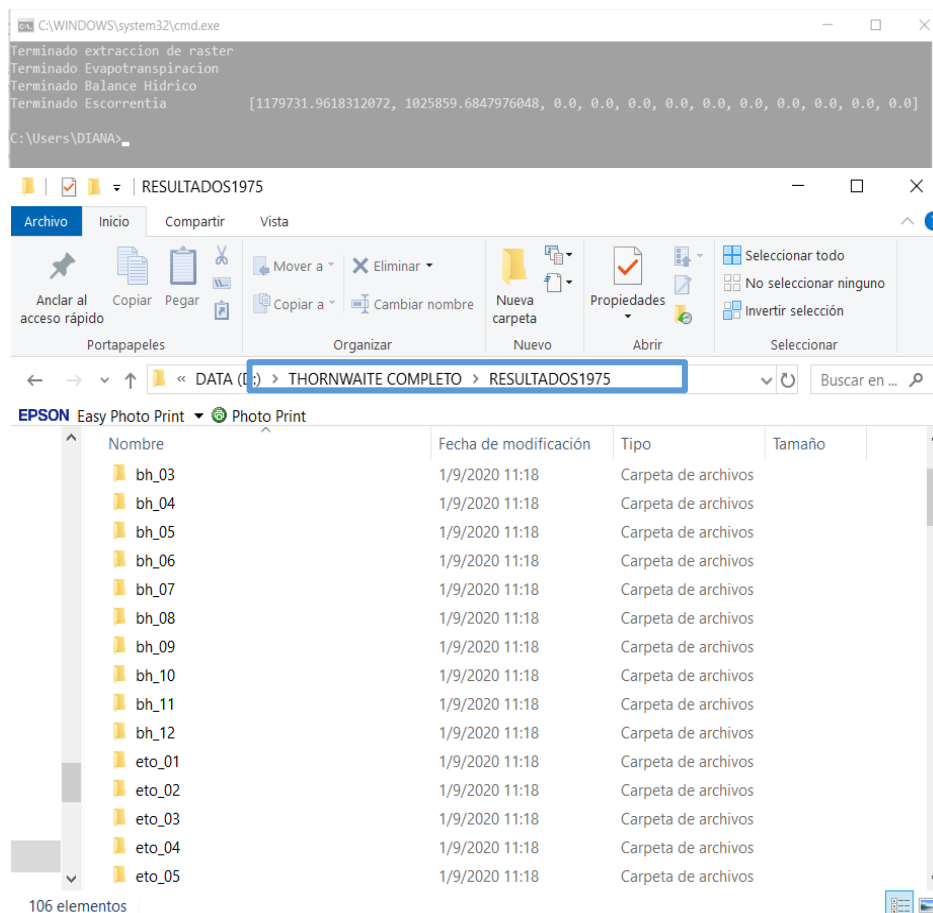
Fuente: Elaboración propia (2020)

Al presionar tecla Intro o enter, permite ejecutar el comando escrito previamente

Al ejecutar la herramienta comienza hallar los resultados de evapotranspiración y balance hídrico mensual en formato raster a comparación de la escorrentía que son valores puntuales expresados en (m³/mes).

Cabe recalcar que todas las carpetas generadas por el script se encuentran en la dirección de la carpeta creada, en este caso: “RESULTADOS1975”.

FIGURA 50. RESULTADOS DE LA EJECUCIÓN DE LA HERRAMIENTA



Fuente: Elaboración propia (2020)

b) Cálculo de la evapotranspiración (Método Penman Monteith)

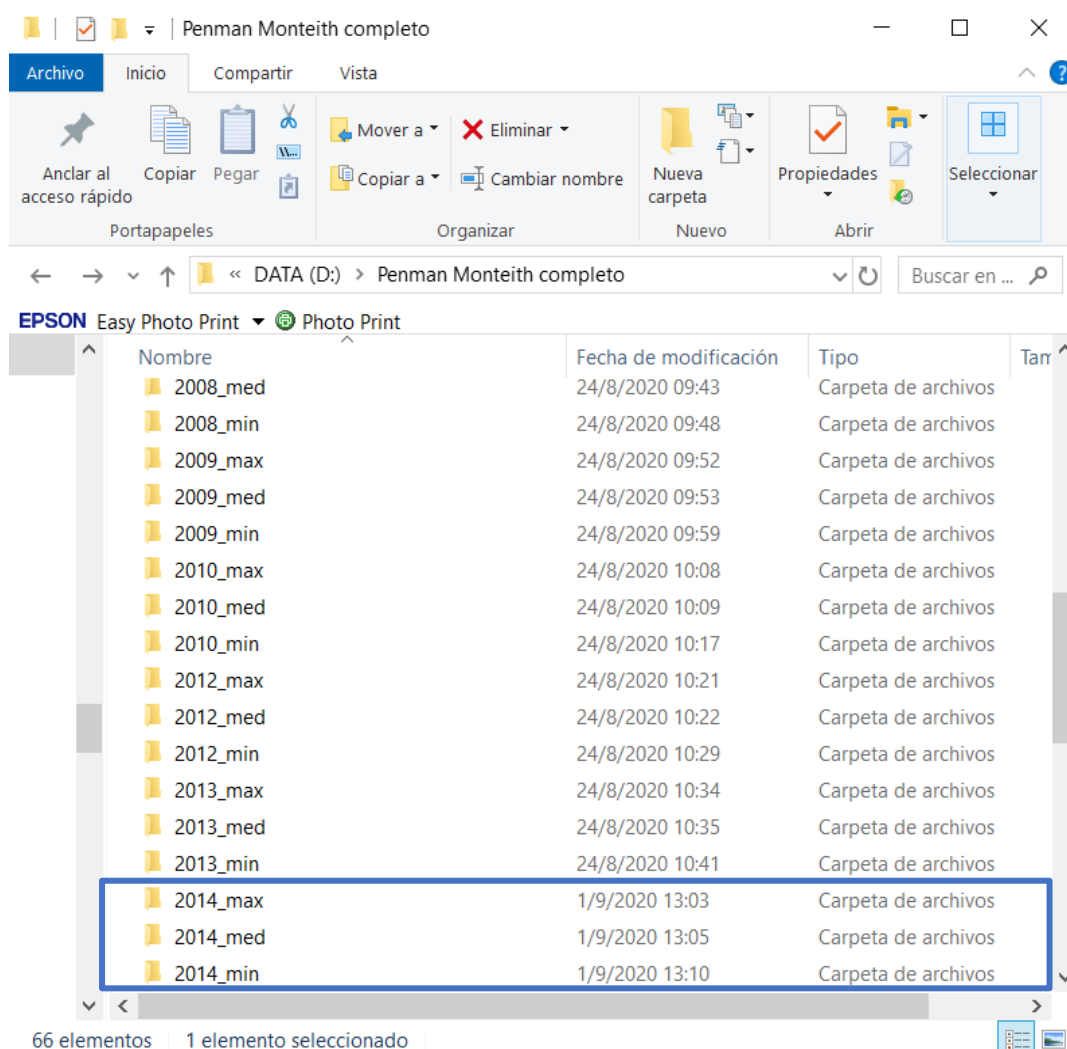
1. Ingresar las variables de entrada

Altura sobre el nivel del mar

Latitud en grados decimales

Temperatura: temperatura máxima, media y mínima mensual en formato ráster, puede estar o no recortado según el área de estudio, con la siguiente denominación en los nombres de las carpetas (ejemplo para el año 2014).

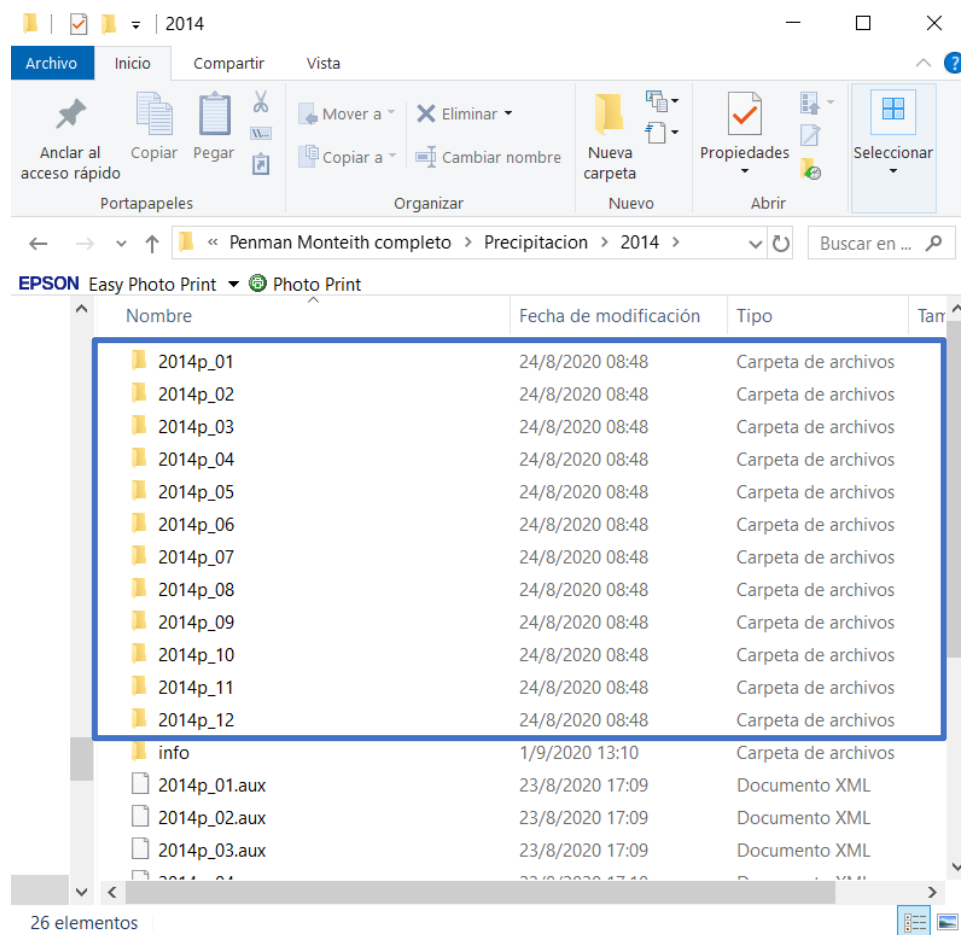
FIGURA 51. DATOS DE ENTRADA DE TEMPERATURA MENSUAL (2014)



Fuente: Elaboración propia (2020)

Precipitación: Precipitación mensual en formato ráster, puede estar o no recortado según el área de estudio, con la siguiente denominación en los nombres de las carpetas (ejemplo para el año 1975)

FIGURA 52. DATOS DE ENTRADA DE PRECIPITACIÓN MENSUAL (2014)



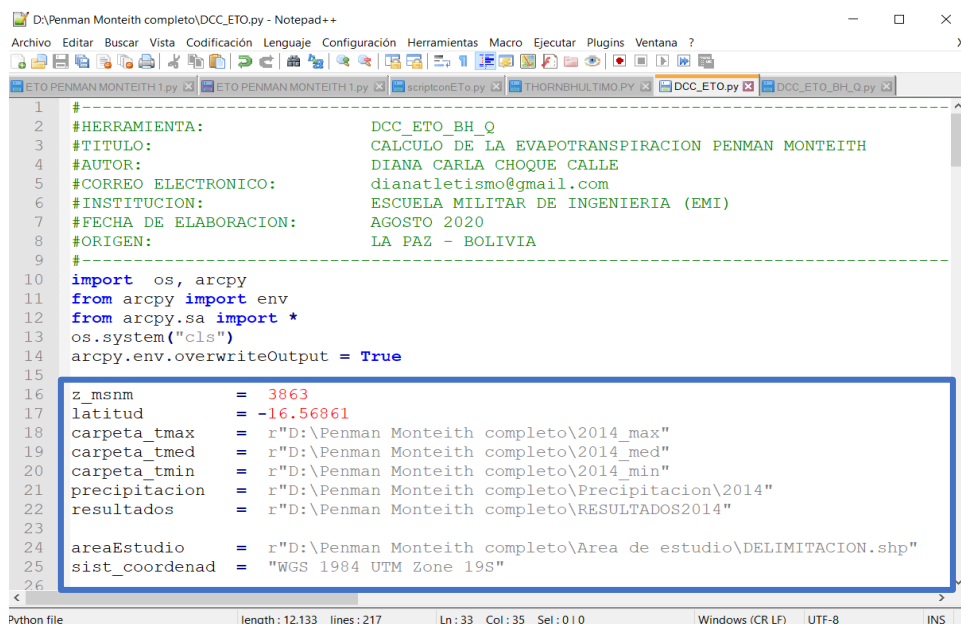
Fuente: Elaboración propia (2020)

Resultados: crear una nueva carpeta.

Área de Estudio: Delimitación de la cuenca en formato shapefile (extensión .shp).

Sistema de coordenadas: Definir el sistema de referencia, sistema de proyección y la zona.

FIGURA 53. SCRIPT PARA EL CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN (PENMAN MONTEITH)

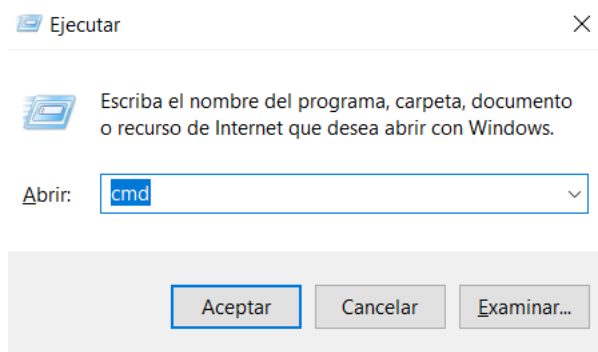


```
1 #
2 #HERRAMIENTA: DCC_ETO_BH_Q
3 #TITULO: CALCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACION PENMAN MONTEITH
4 #AUTOR: DIANA CARLA CHOQUE CALLE
5 #CORREO ELECTRONICO: dianatletismo@gmail.com
6 #INSTITUCION: ESCUELA MILITAR DE INGENIERIA (EMI)
7 #FECHA DE ELABORACION: AGOSTO 2020
8 #ORIGEN: LA PAZ - BOLIVIA
9 #-----
10 import os, arcpy
11 from arcpy import env
12 from arcpy.sa import *
13 os.system("cls")
14 arcpy.env.overwriteOutput = True
15
16 z_msnm = 3863
17 latitud = -16.56861
18 carpeta_tmax = r"D:\Penman Monteith completo\2014_max"
19 carpeta_tmed = r"D:\Penman Monteith completo\2014_med"
20 carpeta_tmin = r"D:\Penman Monteith completo\2014_min"
21 precipitacion = r"D:\Penman Monteith completo\Precipitacion\2014"
22 resultados = r"D:\Penman Monteith completo\RESULTADOS2014"
23
24 areaEstudio = r"D:\Penman Monteith completo\Area de estudio\DELIMITACION.shp"
25 sist_coordenad = "WGS 1984 UTM Zone 19S"
26
```

Fuente: Elaboración propia (2020)

2. Una vez teniendo las direcciones de las carpetas, proceder a ejecutar con el comando Windows + R y escribir “cmd”.

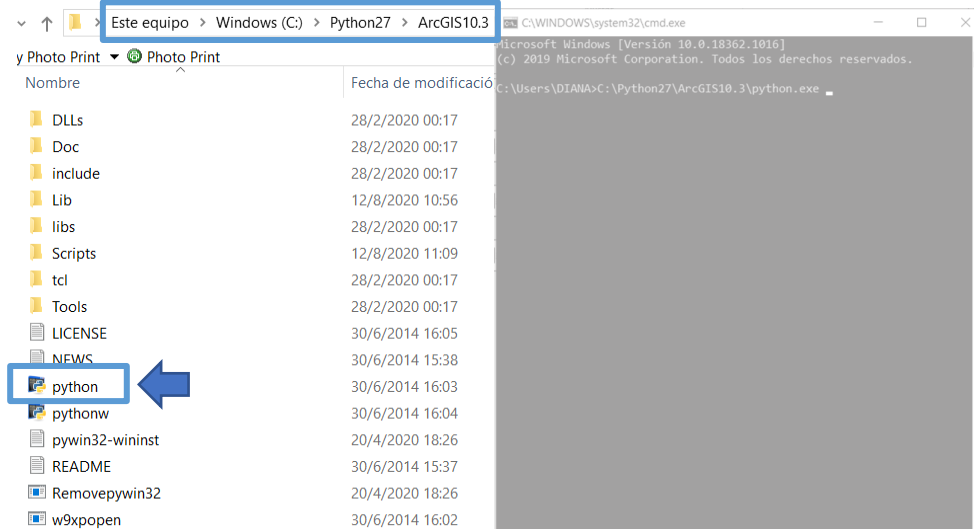
FIGURA 54.COMANDO DE WINDOWS



Fuente: WINDOWS 7

3. En el ejecutor primero copiar el script propio de Python, que lo encontramos en la siguiente dirección:

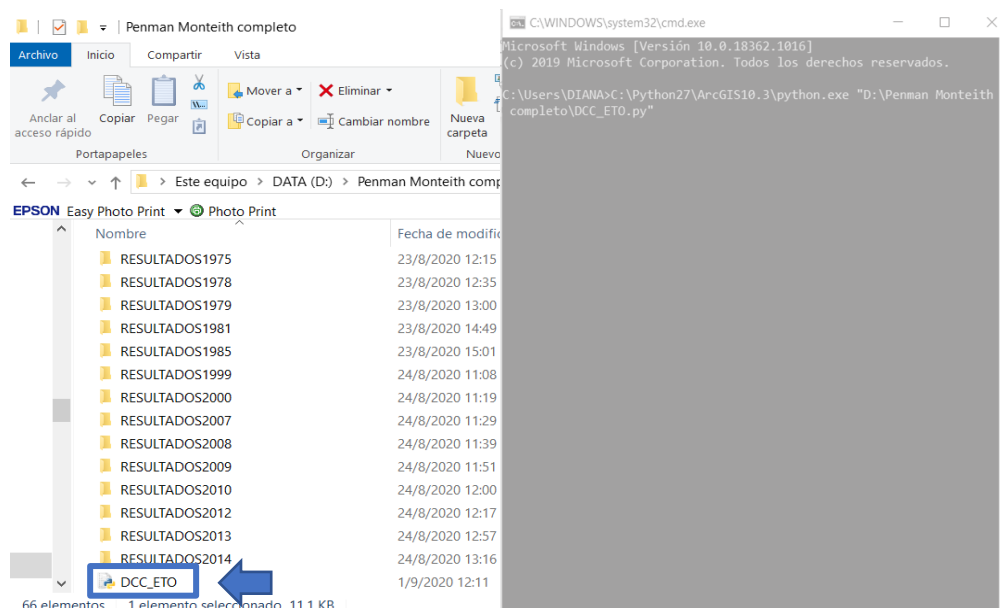
FIGURA 55. EJECUCIÓN DEL PROGRAMA (SCRIPT PYTHON)



Fuente: Elaboración propia (2020)

4. Posteriormente se copia el script guardado en el misma ventana emergente

FIGURA 56. EJECUCIÓN DEL PROGRAMA (SCRIPT DCC_ETO)



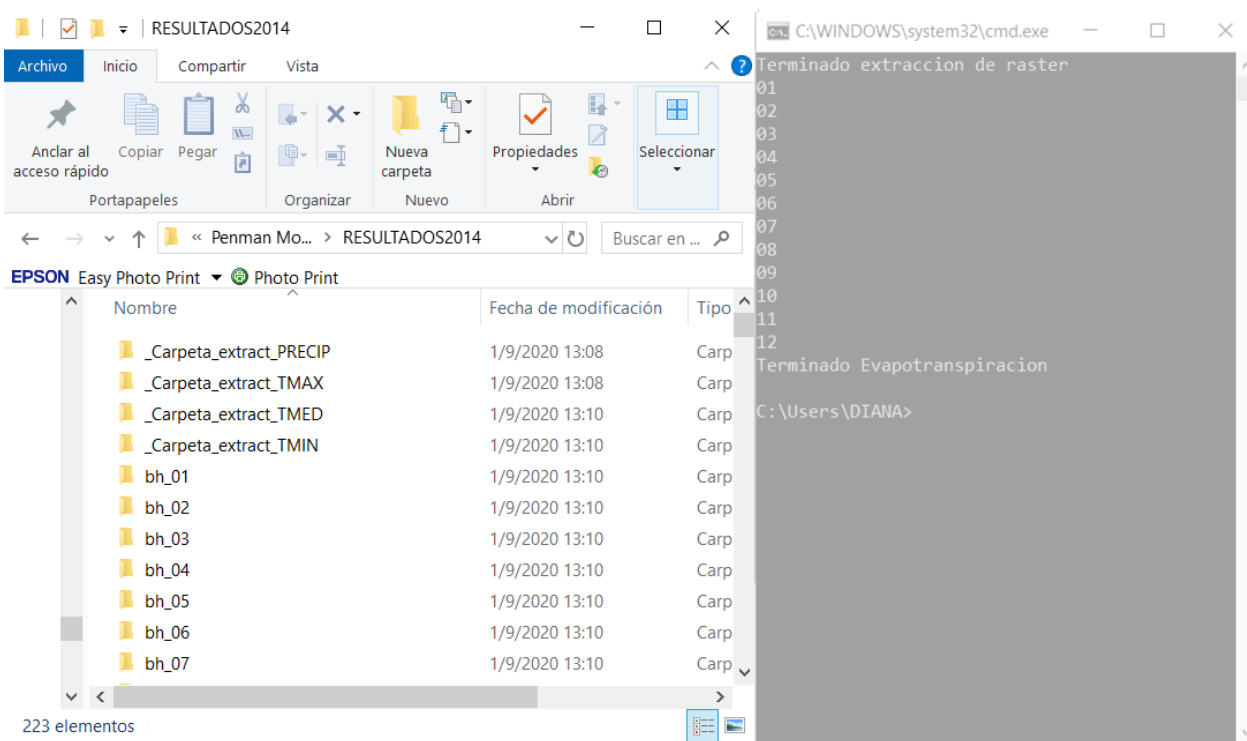
Fuente: Elaboración propia (2020)

5. Al presionar tecla Intro o enter, permite ejecutar el comando escrito previamente

Al ejecutar la herramienta comienza hallar los resultados de evapotranspiracion en formato raster del metodo Penmana Monteith.

Cave recalcar que todas las carpetas generadas por el script se encuentran en la direccion de la carpeta creada, en este caso: “RESULTADOS2014”.

FIGURA 57. RESULTADOS DE LA EJECUCIÓN DE LA HERRAMIENTA



Fuente: Elaboración propia (2020)

c) Limitaciones de la herramienta

- La herramienta permite calcular la evapotranspiración, balance hidrico y escorrentía de forma mensual teniendo datos de precipitación y temperatura mensuales.
- Se debe tener necesariamente la delimitación de la cuenca.

ANEXO H

ENCUESTA Y RESULTADOS



ANEXO H: ENCUESTA Y RESULTADOS

AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS EN HIDROLOGÍA

1. USTED ES: *

Número de participantes:

45

16 (35.6%): ESTUDIANTE

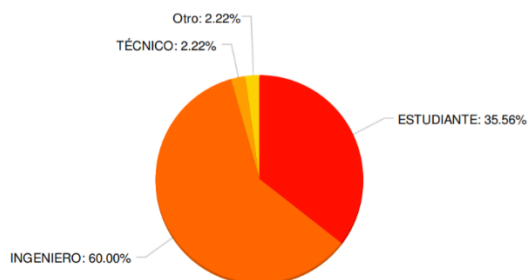
27 (60.0%): INGENIERO

1 (2.2%): TÉCNICO

1 (2.2%): Otro

Respuesta(s) desde el
campo agregado:

- Arquitecto



2. INSTITUCIÓN EN LA QUE TRABAJA: *

Número de participantes:

45

11 (24.4%): CONSULTORA
INDEPENDIENTE

9 (20.0%): DOCENTE -
UNIVERSIDAD

2 (4.4%): MINISTERIO DE
MEDIO AMBIENTE Y AGUA

7 (15.6%):
CONSTRUCTORA

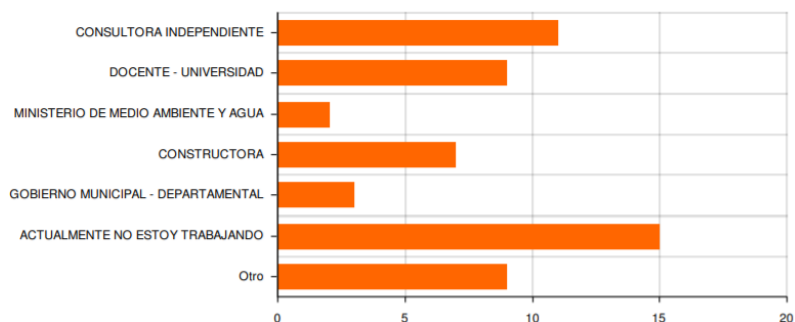
3 (6.7%): GOBIERNO
MUNICIPAL -
DEPARTAMENTAL

15 (33.3%): ACTUALMENTE
NO ESTOY TRABAJANDO

9 (20.0%): Otro

Respuesta(s) desde el
campo agregado:

- Actualmente no trabajo
- Estudio en la Emi
- Bienes raíces
- independiente
- Estudiante
- Escuela militar de
ingeniería
- Fundación caritas
- Senamhi



3. ¿CÓMO CALCULA USTED LA EVAPOTRANSPIRACIÓN? *

Número de participantes:

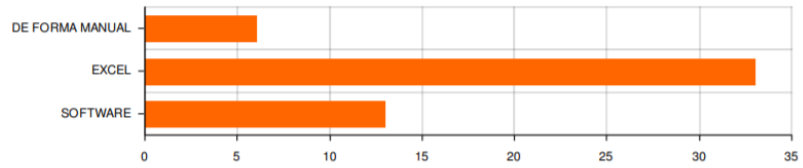
45

6 (13.3%): DE FORMA
MANUAL

33 (73.3%): EXCEL

13 (28.9%): SOFTWARE

- (0.0%): Otro



5. ¿CÓMO CALCULA USTED LA ESCORRENTÍA? *

Número de participantes:

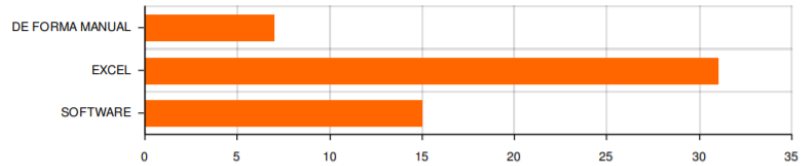
45

7 (15.6%): DE FORMA
MANUAL

31 (68.9%): EXCEL

15 (33.3%): SOFTWARE

- (0.0%): Otro



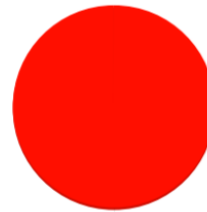
6. ¿ES NECESARIO UTILIZAR EL ARCGIS O QGIS EN HIDROLOGÍA? *

Número de participantes:

45

45 (100.0%): sí

- (0.0%): no



sí: 100.00%

7. ¿USTED TIENE CONOCIMIENTO DE ALGÚN LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN? *

Número de participantes:

45

22 (48.9%): sí

23 (51.1%): no



no: 51.11%

sí: 48.89%

8. SI SU RESPUESTA FUE SI: ¿DE QUÉ FORMA LO APLICA EN SU VIDA LABORAL?

Número de participantes: 18

- Creando programas en calculadora
- C++ la utilizo mas que todo para generar algoritmos para automatizar procesos de calculo y analisis.
- Más que todo a la parte de cálculos lo cual me ayuda a generar códigos que resuelvan un problema genérico
- Para indagar nuevos esquemas
- Automatizando cosas
- Calculando variables meteorologicas
- matlab
- Automatización de procesos de cálculo
- Vida laboral no pero si estudiantil
- Para automatizar los estudios hidrologicos
- En el procesamiento de información hidrometeorológica (relleno, homegeneización, etc.)
- El lenguaje de programación me automatiza varios procesos de calculos ej homogenizacion
- Miuy poco
- Conozco, pero no aplicó, prefiero excel
- Automatización del procesamiento de datos
- PARA DISEÑO DE PROYECTOS
- Automatizando procesos
- PARA REDUCIR TIEMPOS

9. ¿USTED UTILIZÓ UNA DE ESTAS HERRAMIENTAS PARA REALIZAR CÁLCULOS EN HIDROLOGÍA ? *

Número de participantes:

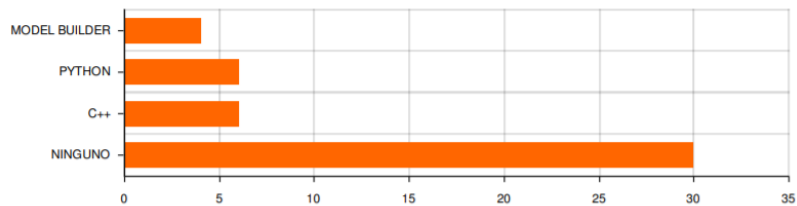
45

4 (8.9%): MODEL BUILDER

6 (13.3%): PYTHON

6 (13.3%): C++

30 (66.7%): NINGUNO



10. LE PARECE FAMILIAR UNO DE ESTOS ENTORNOS *

Número de participantes:

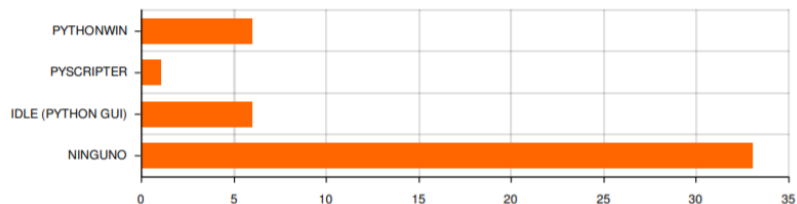
45

6 (13.3%): PYTHONWIN

1 (2.2%): PYSCRIPTER

6 (13.3%): IDLE (PYTHON GUI)

33 (73.3%): NINGUNO



11. CONTAMOS CON LA HERRAMIENTA DCC_ETO_BH_Q PROGRAMADA EN PYTHON; QUE PERMITE HALLAR LA EVAPOTRANSPIRACIÓN, BALANCE HÍDRICO Y ESCORRENTÍA A PARTIR DE IMÁGENES SATELITALES TRABAJANDO CON EL ARCGIS ¿USTED ESTARÍA DISPUESTO A SER PARTE DEL EQUIPO DE PRUEBA PARA UTILIZAR ESTA HERRAMIENTA? *

Número de participantes:

44

43 (97.7%): sí

1 (2.3%): no



13. CONSIDERA USTED QUE PARA CALCULAR LAS VARIABLES HIDROLÓGICAS MEDIANTE SOFTWARE O PROGRAMACIÓN SE DEBA UTILIZAR PLATAFORMA SIG?.EXPLIQUE *

Número de participantes: 38

- Si, podría ser una forma de hallar o calcular variables
- Por que se maneja imágenes o cartas geográficas.
- Si porque es una programa bastante útil al trabajar con Dem podemos iniciar calculando las propiedades geomorfologicos y proceder a realizar el estudio hidrológico
- Si, para realizar los cálculos de forma rápida
- Si que es muy importante por que nos identifica el tipo de cuenca sus parametros, determinar topografía, analizar el tipo de uso de suelo, vegetacion, fisiografía, geología, etc...
- Si ya que nos proporciona los datos respecto a las geografías del lugar
- Para tener mayor confiabilidad en los datos y resultados
- Si porque ed un entorno amigable.
- Es el 1er paso
- Si, es muy útil para tener un contexto espacial al momento de evaluar un modelo
- Si por q facilita el trabajo
- precisión del software
- Si, permite una mejor visualización y control de variables en el cálculo y procedimiento hidrológico
- Entiendo que la plataforma SIG permite cargar la información de manera fidedigna
- Si porq podemos formar el modelo hidrológico
- Si, puesto que es de ayuda en cuanto a la obtención en tabulación de tablas y obtener fácil los calculos
- Si porque es una herramienta necesaria
- Facebook o youtube
- Si, porque permite, facilita obtener datos de variables hidrológicas así como los parámetros morfométricos
- Caudal
- El sig nos ayuda a determinar la delimitación de las cuencas en dónde se ve todas las características de la cuenca
- Si, para optimizar el tiempo
- Yo creo que si, debido a que al momento de usar plataformas sig, es una forma de precaución al momento de utilizar los datos para el calculo de variables hidrologicas.
- No necesariamente, ahora hay bastantes alternativas y el SIG es transversal
- Claro que sí, ya que a partir de un DEM podemos obtener nuestras variables geomorfológicas.
- No necesariamente pero pueden complementarse
- Conocer datos de área y otros que facilita los SIG es fundamental para cualquier cálculo hidrológico
- No
- la plataforma SIG permite ver de manera objetiva el área de influencia de la zona hidrológica de estudio
- Si, permite manejar gran cantidad de datos y resultados que están enlazados a una sola data además georeferenciada
- Si, para obtener datos que correlacionen el relieve del terreno
- Si, es importante calcularlas desde una plataforma SIG
- Si, toda modelacion debe iniciar con un proceso SIG, estas herramientas nos ayudan muchísimo en el Modelamiento
- SI ES UNA HERRAMIENTA MUY COMLETA
- Si es el software más conocido
- Podría ser para una mejor interpretación
- se debe utilizar para mejor apoyo en el cálculo y diseño
- Si, tengo entendido que tiene buena representación en lo que es los mapas

14. ¿QUE VARIABLE HIDROLÓGICA CONSIDERA QUE TAMBIÉN DEBERÍA SER AUTOMATIZADA? *

Número de participantes: 38

- Evaporación, IDF
- Tránsito de avenidas máximas
- Caudales utilizando normativa vigente en nuestro país
- Caudales
- Avenidas Máximas
- Caudales subterráneos
- La infiltración
- Ninguna
- Infiltración
- .
- Tratamiento de calidad de información meteorológica de entrada
- Velocidad de infiltración
- caudal
- Variables de temperatura
- Temperatura
- .
- Escorrentía
- La escorrentía me parece muy importante
- El tiempo de concentración
- Caudal
- Los métodos de cálculo para la evapotranspiración
- No tengo conocimiento de todos los programas por tanto no se con seguridad que variables están automatizadas
- Tal vez la precipitación o incluso la infiltración
- Relleno de datos, test de homogeneidad
- A través de imágenes de precipitación (SRTM), DEM's y variables hidrológicas poder cuantificar también la infiltración.
- Tratamiento de datos
- Las más posibles
- Ninguna
- la ecuación de la lluvia para diferentes áreas o regiones
- Caudal máximo de Avenida, caudal mínimo
- Las curvas Intensidad, Frecuencia, Periodo
- Considero que tiene suficientes variables
- Caudales
- CAUDAL ECOLOGICO
- Nada más
- Periodo de retorno
- Creo que debería ir más a la especialidad y tipo de proyecto
- ldf