

**Especialización en Sistemas de Recursos Hidráulicos y Medio
Ambiente**

**DETERMINACIÓN DE LOS MÓDULOS DE CONSUMO DEL
RECURSO HÍDRICO EN EL SECTOR AGRÍCOLA, Y VALIDACIÓN
MEDIANTE EL SOFTWARE CROPWAT, PARA LA CUENCA ALTA
DEL RÍO BOGOTÁ**

**Sebastián Pinzón Albarracín
Ingeniero Agrícola**

Bogotá, D.C., 28 julio de 2016

**DETERMINACIÓN DE LOS MÓDULOS DE CONSUMO DEL
RECURSO HÍDRICO EN EL SECTOR AGRÍCOLA, Y VALIDACIÓN
MEDIANTE EL SOFTWARE CROPWAT, PARA LA CUENCA ALTA
DEL RÍO BOGOTÁ**

**Trabajo de Grado para optar al título de Especialista en Recursos
Hidráulicos y Medio Ambiente**

Dr. German Ricardo Santos Granados
Ingeniero Civil
M.Sc. Ph.D.
Director

Bogotá, D.C., 28 julio de 2016

Nota de Aceptación

El Trabajo de Grado titulado ***Determinación de los Módulos de Consumo del Recurso Hídrico en el Sector Agrícola, y Validación Mediante el Software CROPWAT, Para la Cuenca Alta del Río Bogotá***, presentado por *Sebastián Pinzón Albarracín*, cumple con los requisitos establecidos para optar el título de Especialista en Recursos Hidráulicos y Medio Ambiente.

Dr. German Ricardo Santos Granados
Director

Bogotá, D.C., Julio 2016

Dedicatoria:

Dedicado a Dios y a mis padres
quienes me han apoyado en todos
mis proyectos y metas personales.

Agradecimientos:

Deseo expresar mis más sinceros agradecimientos a todas aquellas personas que me brindaron su colaboración, conocimientos, ayuda incondicional y especialmente su dedicación y tiempo durante la realización de este proyecto.

A la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito por esta oportunidad de crecer como persona y como profesional. Al Doctor German Ricardo Santos Granados por su paciencia y apoyo durante este trabajo.

A la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR, por la información suministrada.

RESUMEN

La administración del recurso hídrico en nuestro país, es un gran reto para las Corporaciones Ambientales, ya que la incertidumbre en relación con la disponibilidad futura del recurso por la variabilidad climática que actualmente está enfrentando nuestro planeta, requiere que el uso y la cantidad de agua otorgada para el riego de los cultivos sea más precisa. Es necesario desarrollar un módulo de consumo para el sector agrícola que, genere un valor aproximado de la cantidad de agua necesaria para un cultivo específico teniendo en cuenta la evapotranspiración y de esta forma contribuir a un uso más eficiente y óptimo del recurso agua.

Para este estudio se empleó la metodología de Penman-Monteith propuesta por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación – FAO para determinar la Evapotranspiración Potencial (ET_o), y los diferentes métodos propuestos por el Soil Conservation Service (SCS) del Departamento de Agricultura de EE.UU. Los resultados obtenidos de forma manual mediante la ayuda de Hojas de Excel, se corroboraron con el modelo CROPWAT, herramienta de ayuda a la decisión, desarrollada por la División de Desarrollo del Agua de la Tierra de la FAO. En su interface ofrece tres metodologías para estimar la ET_o (Hargreaves, Priestley-Taylor y Penman-Monteith).

Partiendo del cálculo de la Evapotranspiración Potencial, se comparó la disponibilidad de agua frente al requerimiento del cultivo, basándose en los coeficientes de los cultivos (K_c) propuestos por la FAO en el manual de Riego y Drenaje 56. Este ejercicio se realizó para los cultivos comúnmente sembrados en las subcuencas de tercer orden: Cuenca Alta Bogotá, Sector Sisga - Tibitoc, Embalse del Sisga, Embalse del Tominé, Río Neusa y Río Negro, que conforman la cuenca alta del río Bogotá.

Índice General

1	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	Planteamiento y Descripción del Problema.....	3
1.2	OBJETIVOS	4
1.2.1	Objetivo General.....	4
1.2.2	Objetivos Específicos.....	4
2	ESTADO DEL ARTE.....	5
2.1	Conceptos Generales de Cuencas.....	5
2.2	Ciclo Hidrológico.....	6
2.3	Información Climatológica.....	7
2.4	Evaporación y Evapotranspiración	10
2.5	Descripción del SOFTWARE de Validación CROPWAT	11
3	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	21
3.1	Metodología para el Cálculo de la Evapotranspiración Potencial (ET _o) – Propuesta por Penman-Monteith.....	22
3.2	Metodología para el Cálculo de la Precipitación Efectiva	32
3.3	Determinación Uso Consuntivo (UC)	36
3.4	Determinación de la Necesidad de Riego (NR).....	37
4	DETERMINACIÓN DE LOS MÓDULOS DE CONSUMO AGRÍCOLA PARA LA CUENCA ALTA DEL RÍO BOGOTÁ.....	37
4.1	Identificación Zona de Estudio	37
4.2	Clasificación de Estaciones Meteorológicas	38
4.3	Datos Estaciones Meteorológicas.....	39
4.3.1	Estación Silos (Cód. 212054800).....	40
4.3.2	Estación Checua Nemocón (Cód. 21205400).....	41
4.3.3	Estación La Iberia (Cód. 212054800).....	42
4.3.4	Estación Guanquica (Cód. 212054800).....	42
4.3.5	Estación Pantano Redondo 1 (Cód. 212010600).....	43
4.4	Priorización de los Cultivos por Cuenca de Tercer Orden.....	44
4.4.1	Cultivos Priorizados Cuenca de Tercer Orden Alta Río Bogotá	44
4.4.2	Cultivos Priorizados Cuenca de Tercer Orden Sector Sisga – Tibitoc.....	45
4.4.3	Cultivos Priorizados Cuenca de Tercer Orden Embalse del Sisga	45
4.4.4	Cultivos Priorizados Cuenca de Tercer Orden Embalse de Tominé.....	45

4.4.5	Cultivos Priorizados Cuenca de Tercer Orden río Neusa	46
4.4.6	Cultivos Priorizados Cuenca de Tercer Orden Río Negro	46
4.5	Tipo de Cobertura y Usos de Suelo de la Zona de Estudio.....	46
4.6	Modelo Digital de Elevación de la cuenca Alta del río Bogotá	48
4.7	Resultados de la Evapotranspiración Potencial ETo – Método Penman-Monteith	49
4.7.1	ETo – Cuenca de Tercer Orden Alta Río Bogotá	49
4.7.2	ETo – Cuenca de Tercer Orden Sector Sisga - Tibitoc.....	50
4.7.3	ETo – Cuenca de Tercer Orden Embalse del Sisga.....	51
4.7.4	ETo – Cuenca de Tercer Orden Embalse de Tominé	51
4.7.5	ETo – Cuenca de Tercer Orden Río Neusa	53
4.7.6	ETo – Cuenca de Tercer Orden Río Negro.....	53
4.8	Estimación Precipitación Efectiva (Pe) – Método USDA S.C.....	54
4.9	Necesidades de Riego y Módulos de Consumo por Cultivo.....	59
4.9.1	Resultados N.R y Módulos de Consumos para los Cultivos Cuenca Alta Río Bogotá	62
4.9.2	Resultados N.R y Módulos de Consumos para los Cultivos Cuenca Sector Sisga – Tibitoc.....	66
4.9.3	Resultados N.R y Módulos de Consumos para los Cultivos Cuenca Embalse del Sisga	70
4.9.4	Resultados N.R y Módulos de Consumos para los Cultivos Cuenca Embalse de Tominé.....	74
4.9.5	Resultados N.R y Módulos de Consumos para los Cultivos Cuenca Río Neusa	78
4.9.6	Resultados N.R y Módulos de Consumos para los Cultivos Cuenca Río Negro	82
5	VALIDACIÓN DE LOS MÓDULOS DE CONSUMO MEDIANTE EL SOFTWARE CROPWAT 0.8.....	85
5.1	Cargue de Información	85
5.2	Resultados de la Evapotranspiración Potencial (ETo)	85
5.3	Resultados del CROPWAT – Módulos de Consumo Cultivos	93
6	ANÁLISIS GENERAL DE LOS RESULTADOS.....	100
6.1	Ajuste de la Evapotranspiración Potencial – Calculada	100
6.2	Régimen Hídrico de las 6 cuencas de tercer orden que conforman la Cuenca Alta de Río Bogotá.	101
6.3	Comportamiento de la Evapotranspiración Potencial, en la cuenca alta del río Bogotá.....	104

6.4	Análisis de los requerimientos hídricos de los cultivos priorizados para la cuenca alta del Río Bogotá.....	105
6.5	Optimización del módulo de consumo	108
7	CONCLUSIONES.....	109
8	Bibliografía.....	111

Índice de Tablas

Tabla 1. Información Necesaria del suelo, cultivo y tipo de riego a utilizar para la entrada de datos al CROPWAT, ejemplo de uso del Software.....	13
Tabla 2. Resumen de los resultados del ejemplo, representación de gráficas y tablas....	20
Tabla 3. Relación de los vientos con su respectiva velocidad.....	31
Tabla 4. Datos mensuales multianuales estación Silos (21205740)	40
Tabla 5. Datos mensuales multianuales estación Checua Nemocón (212005400).....	41
Tabla 6. Datos mensuales multianuales estación La Iberia (212054800)	42
Tabla 7. Datos mensuales multianuales estación Guanquica (212011800)	43
Tabla 8. Datos mensuales multianuales estación Pantano Redondo 1 (212010600).....	43
Tabla 9. Cultivos Cuenca Alta río Bogotá	44
Tabla 10. Cultivos Cuenca Sector Sisga Tibitoc	45
Tabla 11. Cultivos Cuenca Embalse del Sisga	45
Tabla 12. Cultivos Cuenca Embalse de Tominé	45
Tabla 13. Cultivos Cuenca río Neusa	46
Tabla 14. Cultivos Cuenca río Negro.....	46
Tabla 15. Características del Suelo para la Estimación de la Precipitación Efectiva – Pe	55
Tabla 16. Valores del coeficiente único (promedio temporal) del cultivo, Kc y alturas medidas máximas de las plantas para cultivos no estresados y bien manejados en climas sub-húmedos para usa en la fórmula de la FAO Penman-Monteith ETo.....	60
Tabla 17. Duración de las etapas de crecimiento del cultivo para distintos períodos de siembra.....	61
Tabla 18. N.R Cultivo de Pasto Cuenca Alta Río Bogotá.....	62
Tabla 19. N.R Cultivo de Papa Cuenca Alta Río Bogotá	62
Tabla 20. N.R Cultivo de Maíz (choclo) Cuenca Alta Río Bogotá.....	63
Tabla 21. N.R Cultivo de Cebada y Trigo Cuenca Alta Río Bogotá.....	63
Tabla 22. N.R Cultivo de Hortalizas Cuenca Alta Río Bogotá	64
Tabla 23. N.R Cultivo de Flores (invernadero) Cuenca Alta Río Bogotá	64
Tabla 24. N.R Cultivo Legumbres Cuenca Alta Río Bogotá	65
Tabla 25. N.R Cultivo de Fresas Cuenca Alta Río Bogotá	65
Tabla 26. N.R Cultivo de Pasto Cuenca Sector Sisga - Tibitoc.....	66
Tabla 27. N.R Cultivo de Maíz (choclo) Cuenca Sector Sisga - Tibitoc.....	66
Tabla 28. N.R Cultivo de Cebolla Cuenca Sector Sisga - Tibitoc.....	67
Tabla 29. N.R Cultivo de Cebada y Trigo Cuenca Sector Sisga - Tibitoc.....	67
Tabla 30. N.R Cultivo de Hortalizas Cuenca Sector Sisga - Tibitoc	68
Tabla 31. N.R Cultivo de Legumbres Cuenca Sector Sisga - Tibitoc	68
Tabla 32. N.R Cultivo de Fresa Cuenca Sector Sisga - Tibitoc.....	69
Tabla 33. N.R Cultivo de Pasto Cuenca Embalse del Sisga	70
Tabla 34. N.R Cultivo de Papa Cuenca Embalse del Sisga	70
Tabla 35. N.R Cultivo de Maíz (choclo) Cuenca Embalse del Sisga	71
Tabla 36. N.R Cultivo de Cebada y Trigo Cuenca Embalse del Sisga	71
Tabla 37. N.R Cultivo de Hortalizas Cuenca Embalse del Sisga.....	72
Tabla 38. N.R Cultivo de Flores (invernadero) Cuenca Embalse del Sisga	72
Tabla 39. N.R Cultivo de Legumbres Cuenca Embalse del Sisga.....	73
Tabla 40. N.R Cultivo de Durazno Cuenca Embalse del Sisga.....	73
Tabla 41. N.R Cultivo de Pasto Cuenca Embalse de Tominé	74
Tabla 42. N.R Cultivo de Papa Cuenca Embalse de Tominé.....	74
Tabla 43. N.R Cultivo de Maíz (choclo) Cuenca Embalse de Tominé.....	75

Tabla 44. N.R Cultivo de Cebada y Trigo Cuenca Embalse de Tominé	75
Tabla 45. N.R Cultivo de Hortalizas Cuenca Embalse de Tominé	76
Tabla 46. N.R Cultivo de Flores (Invernadero) Cuenca Embalse de Tominé	76
Tabla 47. N.R Cultivo de Legumbres Cuenca Embalse de Tominé	77
Tabla 48. N.R Cultivo de Mora (arbusto) Cuenca Embalse de Tominé	77
Tabla 49. N.R Cultivo de Pasto Cuenca Río Neusa.....	78
Tabla 50. N.R Cultivo de Maíz (choclo) Cuenca Río Neusa.....	78
Tabla 51. N.R Cultivo de Cebada y Trigo Cuenca Río Neusa.....	79
Tabla 52. N.R Cultivo de Hortalizas Cuenca Río Neusa	79
Tabla 53. N.R Cultivo de Flores (Invernadero) Cuenca Río Neusa.....	80
Tabla 54. N.R Cultivo de Legumbres Cuenca Río Neusa	80
Tabla 55. N.R Cultivo de Cítricos Cuenca Río Neusa.....	81
Tabla 56. N.R Cultivo de Durazno Cuenca Río Neusa	81
Tabla 57. N.R Cultivo de Pasto Cuenca Río Negro	82
Tabla 58. N.R Cultivo de Maíz (choclo) Cuenca Río Negro	82
Tabla 59. N.R Cultivo de Cebada Cuenca Río Negro	83
Tabla 60. N.R Cultivo de Hortalizas Cuenca Río Negro.....	83
Tabla 61. N.R Cultivo de Legumbres Cuenca Río Negro.....	84
Tabla 62. N.R Cultivo de Durazno Cuenca Río Negro	84
Tabla 63. Valor del Módulo de Consumo en el cultivo de hortalizas, para las diferentes cuencas objeto de estudio	107
Tabla 64. Optimización del Módulo de Consumo utilizando reservorios	108

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1. Esquema de una Cuenca Hidrográfica río Bogotá.....	6
Ilustración 2. Representación del Ciclo Hidrológico.....	7
Ilustración 3. Vista de la interfaz del Software CROPWAT, Versión 8.0	12
Ilustración 4. Datos Estación Meteorológica, para el ejemplo de los requerimientos de riego para un cultivo de Caraotas Negras a sembrarse en un área de Coro, Estado de Falcón – Venezuela	13
Ilustración 5. Ventana de la entrada de los datos relacionados con las variables climáticas.....	14
Ilustración 6. Ventana de salida, donde podemos ver los datos calculados de la Eto.....	15
Ilustración 7. Ventana de salida, donde podemos ver los datos calculados de la Precipitación Total y Efectiva.	16
Ilustración 8. Ventana de entrada para los datos del cultivo objeto de estudio	17
Ilustración 9 Ventana de entrada para los datos del patrón del cultivo objeto de estudio	18
Ilustración 10. Ventana de entrada para los datos del suelo	19
Ilustración 11. Requerimiento del Cultivo de Caraota, ejemplo de aplicación de Software CROPWAT	21
Ilustración 12. Componentes de la Radiación	23
Ilustración 13. Variación anual de la radiación extraterrestre (Ra) en el ecuador, a los 20° y 40° de latitud norte y sur	26
Ilustración 14. Variación anual de las horas de luz del día (N) en el ecuador a los 20° y 40° de latitud norte y sur	27
Ilustración 15. Variación de la humedad relativa durante un periodo de 24 horas para una presión real de vapor constante de 2,4 kPa	29
Ilustración 16. CN de escorrentía para usos selectos de tierra agrícola, sub urbana y urbana en condiciones normales (CN II)	35
Ilustración 17. Cuencas de tercer orden que conforman la cuenca alta del río Bogotá...	38
Ilustración 18. Estaciones de la CAR y del IDEAM, en la zona de estudio cuenca Alta Río Bogotá	39
Ilustración 19. Estaciones de la CAR y del IDEAM, escogidas para el estudio.....	40
Ilustración 20. Usos de Suelo de la Cuenca Alta del río Bogotá.....	47
Ilustración 21. Modelo Digital de Elevación (DEM), Cuenca Alta del Río Bogotá.	48
Ilustración 22. Esquema de entrada de datos al Software de validación CROPWAT 0.8	85
Ilustración 23. Opciones de CROPWAT	86
Ilustración 24. Ventana de Salida para el valor de la ETo – Cuenca Alta del Bogotá	86
Ilustración 25. Programación de Riego para el cultivo de papa, en la cuenca alta del Río Bogotá	94
Ilustración 26. Programación de Riego para el cultivo de Maíz (choclo), en la cuenca Sector Sisga - Tibitoc.....	95
Ilustración 27. Programación de Riego para el cultivo de Cebada, en la cuenca Embalse Sisga	96
Ilustración 28. Programación de Riego para el cultivo de Hortalizas, en la cuenca Embalse Tominé.....	97
Ilustración 29. Programación de Riego para el cultivo de Durazno, en la cuenca Río Neusa	98
Ilustración 30. Programación de Riego para el cultivo de Legumbres, en la cuenca Río Negro.....	99

Índice de Gráficas

Gráfica 1. Evapotranspiración Potencial – ETo vs Precipitación Total (P), para la cuenca de tercer orden Alto Río Bogotá.....	49
Gráfica 2. Evapotranspiración Potencial – ETo vs Precipitación Total (P), para la cuenca de tercer orden Sector Sisga - Tibitoc.....	50
Gráfica 3. Evapotranspiración Potencial – ETo vs Precipitación Total (P), para la cuenca de tercer orden Embalse del Sisga.....	51
Gráfica 4. Evapotranspiración Potencial – ETo vs Precipitación Total (P), para la cuenca de tercer orden Embalse de Tominé	52
Gráfica 5. Evapotranspiración Potencial – ETo vs Precipitación Total (P), para la cuenca de tercer orden Río Neusa.....	53
Gráfica 6. Evapotranspiración Potencial – ETo vs Precipitación Total (P), para la cuenca de tercer orden Río Negro	54
Gráfica 7. Precipitación Efectiva (Pe), para la cuenca de tercer orden Alto Río Bogotá ...	56
Gráfica 8. Precipitación Efectiva (Pe), para la cuenca de tercer orden Sector Sisga – Tibitoc.....	56
Gráfica 9. Precipitación Efectiva (Pe), para la cuenca de tercer orden Embalse del Sisga	57
Gráfica 10. Precipitación Efectiva (Pe), para la cuenca de tercer orden Embalse de Tominé	57
Gráfica 11. Precipitación Efectiva (Pe), para la cuenca de tercer orden Río Neusa	58
Gráfica 12. Precipitación Efectiva (Pe), para la cuenca de tercer orden Río Negro.....	58
Gráfica 13. Resultados CROPWAT, Estimación ETo para la cuenca Alta Río Bogotá	87
Gráfica 14. Resultados ETo Manual vs CROPWAT, para la cuenca Alta Río Bogotá	87
Gráfica 15. Resultados CROPWAT, Estimación ETo para la cuenca Sector Sisga - Tibitoc	88
Gráfica 16. Resultados ETo Manual vs CROPWAT, para la cuenca Sector Sisga - Tibitoc	88
Gráfica 17. Resultados CROPWAT, Estimación ETo para la cuenca Embalse del Sisga.	89
Gráfica 18. Resultados ETo Manual vs CROPWAT, para la cuenca Embalse del Sisga..	89
Gráfica 19. Resultados CROPWAT, Estimación ETo para la cuenca Embalse de Tominé	90
Gráfica 20. Resultados ETo Manual vs CROPWAT, para la cuenca Embalse de Tominé	90
Gráfica 21. Resultados CROPWAT, Estimación ETo para la cuenca Río Neusa.....	91
Gráfica 22. Resultados ETo Manual vs CROPWAT, para la cuenca Río Neusa	91
Gráfica 23. Resultados CROPWAT, Estimación ETo para la cuenca Río Negro	92
Gráfica 24. Resultados ETo Manual vs CROPWAT, para la cuenca Río Negro.....	92
Gráfica 25. Ajuste de la ETo para la subcuenca Alto Bogotá (Cód. 2120-19), teniendo en cuenta la humedad antecedente.....	100
Gráfica 26. Cuencas con régimen hídrico unimodal	102
Gráfica 27. Cuencas con régimen hídrico bimodal	103
Gráfica 28. Evapotranspiración Potencial acumulada en la cuenca alta de río Bogotá...	104
Gráfica 29. Excesos y/o déficit hídrico, para las diferentes cuencas que conforman la cuenca alta del río Bogotá	105
Gráfica 30. Necesidad Neta de Riego (m ³ /Ha), cultivo de Hortalizas - Cuenca Alta del Río Bogotá	106

1 INTRODUCCIÓN

La cuenca del río Bogotá se encuentra localizada en el departamento de Cundinamarca y junto con las cuencas de los ríos Sumapaz, Seco y otros afluentes directos al Magdalena, Negro, Carare – Minero, Alto Suárez, Medio y Bajo Suárez, Guayuriba, Guavio y Garagoa, conforma el grupo de corrientes de segundo orden que administra la Corporación Autónoma de Cundinamarca. Tiene una superficie total de 589.143 hectáreas que corresponden a cerca del 32% del total de la superficie departamental.

En el presente estudio se realizó la determinación de diferentes módulos de consumo agrícola en la cuenca alta del río Bogotá, que según la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR, está definida por 6 cuencas de tercer orden las cuales son: Cuenca Alta Bogotá, Sector Sisga - Tibitoc, Embalse del Sisga, Embalse del Tominé, Río Neusa y Río Negro; que tienen una extensión aproximada de 1.550,91 Km², con alturas que van desde los 2.550 m.s.n.m. hasta los 3.700 m.s.n.m.

Para la estimación de los módulos de consumo agrícola se identificaron los cultivos más relevantes desarrollados en el área de estudio según los Esquemas y Planes de Ordenamiento Territorial y el anuario agrícola del año 2013 publicado por la Gobernación de Cundinamarca. Se estableció la climatología con información que se obtuvo de las estaciones climatológicas del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia – IDEAM y la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR, donde se analizaron y transformaron datos diarios de precipitación, temperatura máxima y mínima, brillo solar, velocidad del viento y humedad relativa. Esto con el fin de contribuir a la estimación de la demanda de agua por cada cultivo.

La evaluación de los requerimientos de consumo para los diferentes cultivos, se realizó de forma manual por el método Penman-Monteith propuesto por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación - FAO en el Manual de Riego y Drenajes No. 56 “*Evapotranspiración del Cultivo, Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*” esto para la determinación de la Evapotranspiración Potencial (ET_o).

Posteriormente se validaron los resultados con el modelo CROPWAT, herramienta desarrollada por la División de Desarrollo del Agua de la Tierra de la FAO, el cual posee una herramienta para la determinación de dicha evapotranspiración (ET_o), y así comparar la disponibilidad de agua con el requerimiento del cultivo, basándose en los coeficientes de los cultivos (K_c) a lo largo de sus etapas de desarrollo. De esta forma se consolidó una matriz de caracterización, en la cual se describen las fases fenológicas, entre otras variables necesarias para determinar el consumo hídrico específico para cada cultivo.

1.1 Planteamiento y Descripción del Problema

La Cuenca del Río Bogotá es un ecosistema ubicado en el centro del país, y que por muchos años a pesar de sus problemas ambientales ha brindado innumerables servicios a las poblaciones asentadas en esta zona estratégica, en donde se produce el 26 % del Producto Interno Bruto a nivel nacional (CAR, 2010)

Se reportan en su área total más de diez mil (10.000) usuarios que utilizan el recurso hídrico para el desarrollo de actividades productivas (Plantas de Beneficio Animal, pasteurizadoras, curtiembres, porcícolas, agrícolas, avícolas, productoras de papel, del sector galvanoplástico, entre otros) y humanas (cabeceras municipales, centros poblados, condominios, colegios, cárceles, urbanizaciones, entre otras), las cuales necesitan el agua como recurso vital para su sobrevivencia y operación (CAR, 2010).

Existen diferentes factores que afectan al sector agrícola, entre los cuales se pueden destacar el calentamiento global y la variación climática generada por diversos procesos del sistema climático, dichos fenómenos impactarán los sistemas socioeconómicos y los ecosistemas de diferentes regiones del mundo en el presente siglo. Es evidente que existe una preocupación acerca del tema y los impactos que genera en la sociedad, razón por la cual se busca mitigar el impacto del fenómeno y surge la necesidad de adaptarse a las nuevas condiciones.

El sector agrícola es uno de los más importantes del país y de la cuenca objeto de estudio, y como se mencionó anteriormente dicho sector es uno de los principales afectados por el cambio climático y el calentamiento global, haciendo que la demanda de agua para el sostenimiento de los cultivos se incremente de manera importante, poniendo en riesgo la disponibilidad del recurso hídrico debido a la alta demanda. Con este trabajo se pretende calcular el requerimiento hídrico de los principales cultivos desarrollados en la cuenca alta del río Bogotá, definiendo un módulo de consumo por cultivo en función del área, el cual facilitará a las entidades administradoras de los recursos naturales la optimización y racionalización del recurso agua para asegurar su oferta y garantizar a todos sus usuarios el abastecimiento de este recurso de manera equitativa ajustándose a las necesidades de cada uno.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo General

Calcular los módulos de consumo agrícola, mediante la aplicación de la metodología propuesta por Penman-Monteith (FAO) para la estimación de la Evapotranspiración Potencial (Eto) para los principales cultivos desarrollados en la cuenca alta de río Bogotá.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Evaluar el régimen hídrico de las cuencas objeto de estudio.
- Calcular la Evapotranspiración Potencial, utilizando la metodología Penman-Monteith propuesta por la FAO.
- Definir los meses en los que se presenta déficit hídrico para determinar la aplicación de riego en los cultivos establecidos para este trabajo.
- Evaluar los resultados del Software de validación CROPWAT.

2 ESTADO DEL ARTE

2.1 Conceptos Generales de Cuencas

(Monsalve, 1999) Señala que una Cuenca u Hoya hidrográfica es un área definida topográficamente, drenada por un curso de agua o un sistema conectado de cursos de agua tal que todo el caudal efluente es descargado a través de una salida simple.

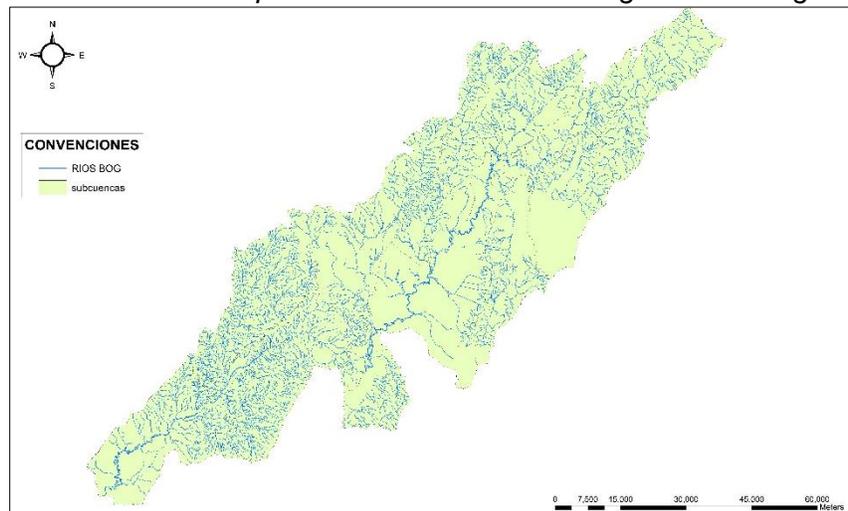
Por otra parte otros autores como (Chow, 1994), indican que la cuenca hidrográfica es una superficie de tierra que drena hacia una corriente en un lugar dado y se compone de líneas divisorias que separa la superficie de la tierra cuyo drenaje fluye hacia un río de las demás superficies de la tierra.

Las cuencas Hidrográficas poseen unas características que dependen de la morfología (forma, relieve, red de drenaje, entre otras), los tipos de suelo, la capa vegetal, la geología, las prácticas agrícolas, etc. Estos elementos físicos proporcionan la más conveniente posibilidad de conocer la variación en el espacio de los elementos del régimen hidrológico¹, a continuación se exponen las características físicas más relevantes de las cuencas hidrográficas:

- Área de Drenaje
- Sistema de Drenaje
- Pendiente de la Cuenca
- Grupo hidrológico del suelo (A, B, C y D) de acuerdo con la metodología del Soil Conservation Service
- Forma de la Cuenca
- Uso del Suelo

¹ *Monzalve, G (1999). Hidrología en la Ingeniería. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería .*

Ilustración 1. Esquema de una Cuenca Hidrográfica río Bogotá



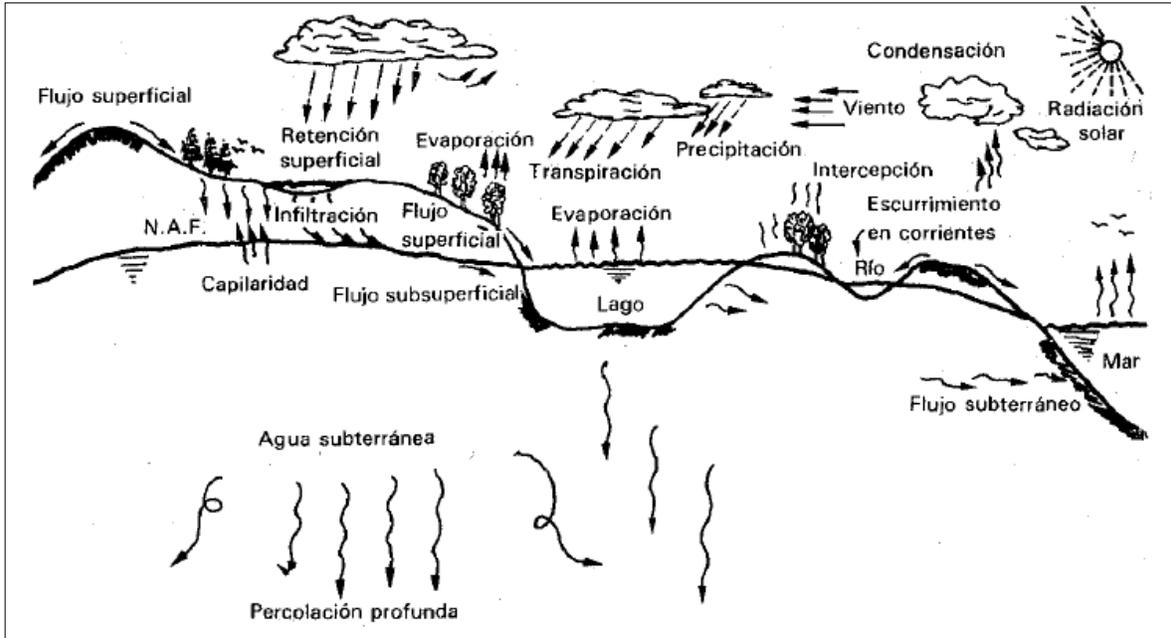
Fuente: CAR – Autor

2.2 Ciclo Hidrológico

El Ciclo Hidrológico es el foco central de la hidrología. El ciclo hidrológico (**Ilustración 2**) no tiene principio ni fin y sus diversos procesos ocurren de forma continua (Chow, 1994), y es fundamental para entender los procesos que se suceden en la tierra. Requiere conocimientos multidisciplinarios. No existe un punto de partida en el ciclo del agua en la tierra, pero lo que sí está claro es que se basa en todos los estados del agua (gas, líquido y sólido).

Todos estos estados se presentan en la naturaleza y todas ellas son importantes de cara a los recursos humanos. Lo más importante es tener en cuenta la interrelación del hombre con la naturaleza y su influencia en el ciclo del agua (Bateman, 2007).

Ilustración 2. Representación del Ciclo Hidrológico



Fuente: Mijares, F. J. (1992). *Fundamentos de Hidrología de Superficie*. México: Limusa S.A.

El agua que se encuentra sobre la superficie terrestre se evapora bajo el efecto de la radiación solar y el viento. El vapor de agua, que así se forma, se eleva y se transporta por la atmósfera en forma de nubes hasta que se condensa y cae hacia la tierra en forma de precipitación. Durante su trayecto hacia la superficie de la tierra, el agua precipitada puede volver a evaporarse o ser interceptada por las plantas o las construcciones, luego fluye por la superficie hasta las corrientes o se infiltra. El agua interceptada y una parte de la infiltrada y de la que corre por la superficie se evapora nuevamente. De la precipitación que llega a las corrientes, una parte se infiltra y otra llega a los océanos y otros grandes cuerpos de agua, como presas y lagos, o bien hacia zonas profundas del suelo (percolación) para ser almacenada como agua subterránea y después aflorar en manantiales, ríos o el mar; así lo expone el autor (Mijares, 1992).

2.3 Información Climatológica

Es el conjunto de las observaciones de temperatura, precipitación, evaporación, entre otras., obtenidas durante años en una estación meteorológica, la cual conforma una vasta serie de datos por lo que es indispensable resumir y coordinar esta similitud de cifras con

algunos elementos lo más pequeño posible, pero sin embargo, suficiente para caracterizar la estación, (Urrutia, 2016) define las variables de la siguiente manera:

- **Temperatura Media Diaria:** Se refiere a la temperatura media presentada durante el transcurso de un día en específico.

$$Tmed_{ijk}$$

Donde:

Tmed: Temperatura media, °C

i: Índice del día ($i=1,2,3,\dots,NDM_j$),

j: Número de meses ($j=1,2,3,\dots,12$),

k: Número de años ($k=1,2,3,\dots,n$),

NDM: Número de días del mes *j*,

n: Número de años de registro.

- **Temperatura Media Mensual del Año:** Esta variable se obtiene a partir del promedio de los registros diarios de temperatura mediante un mes y un año en específico matemáticamente se expresa de la siguiente manera.

$$Tmed_{jk} = \frac{\sum_{i=1}^{NDM_j} Tmed_{ijk}}{NDM_j}$$

- **Temperatura Media Mensual:** Esta se obtiene de una serie de registros históricos de temperatura medias mensuales.

$$Tmed_j = \frac{\sum_{k=1}^n Tmed_k}{n}$$

- **Temperatura Media Anual del Año:** Se obtiene a partir de una serie de registros históricos de la temperatura media anual del año *k* mediante la siguiente ecuación.

$$Tmed_{anual} = \frac{\sum_{k=1}^n Tmed_k}{n}$$

- **Precipitación:** autores como (Monsalve, 1999), definen la precipitación como todas las formas de humedad emanadas de la atmosfera y depositada en la superficie terrestre, tales como lluvia, granizo, rocío, neblina, nieve o helada. La precipitación se mide en altura o lámina de agua expresada en milímetros. La información se presenta en diversas formas dependiendo de la dependencia que las elabora (Urrutia, 2016).
 - **Precipitación Diaria:** Se refiere a la cantidad total de lluvia precipitada en un periodo de 24 horas.

$$Pr_{ijk}$$

Pr: Precipitación, mm (Lámina de P)

i: Índice del día ($i=1,2,3,\dots,NDM_j$),

j: Número de meses ($j=1,2,3,\dots,12$),

k: Número de años ($k=1,2,3,\dots,n$),

ND: Número de días del mes *j*,

n: Número de años de registro.

- **Precipitación Mensual en el Año:** Es la cantidad de lluvia acumulada en un periodo de un mes, es decir, la suma de los registros diarios de precipitación durante un mes de un año en específico.

$$Pr_{jk} = \sum_{i=1}^{NDM_j} Pr_{ijk}$$

- **Precipitación Media Mensual:** Esta se obtiene a partir de una serie de registros de precipitación mensual y es la suma de estos para un año específico, *k*.

$$Pr_j = \frac{\sum_{k=1}^n Pr_{jk}}{n}$$

- **Precipitación Anual:** Se obtiene a partir de los registros de precipitación mensual y es la suma de estos en específico, k.

$$Pr_k = \sum_{j=1}^{12} Pr_{jk}$$

- **Precipitación Media Anual:**

$$Pr_{anual} = \frac{\sum_{k=1}^n Pr_k}{n}$$

- **Precipitación Neta o Efectiva:** Autores como (Sánchez, 2010), la definen como la precipitación que no genera escorrentía y queda como retención superficial y/o infiltración. Posteriormente esta agua acabara evapotranspirándose por las plantas o llegando a la escorrentía subterránea.

2.4 Evaporación y Evapotranspiración

- **Evaporación (Eo):** Los dos factores principales que influyen en la evaporación desde una superficie abierta de agua son el suministro de energía para proveer el calor latente de vaporización, y la habilidad para transportar el vapor fuera de la superficie de evaporación. La radiación solar es la principal fuente de energía calórica. La habilidad de transporte del vapor fuera de la superficie de evaporación depende de la velocidad del viento sobre la superficie y del gradiente de humedad específica en el aire por encima de ella (Chow, 1994). La primera ecuación para expresar dicho fenómeno fue expresada por Dalton (1998) como:

$$E_o = f(C.v.e_s.e_a) \text{ expresada en } \left[\frac{mm}{día} \right]$$

En donde:

C: Función de varios elementos meteorológicos.

e_s : Presión de saturación de vapor de aire a temperatura t_s de la capa limitante entre el agua y el aire.

e_a : Presión de vapor de aire a temperatura t_a del aire.

v : Velocidad del viento.

- **Evapotranspiración Potencial (Eto):** autores como (Mijares, 1992), definen esta variable como la pérdida de agua observada en una superficie líquida o sólida saturada, por evaporación y transpiración de las plantas, que ocurriría en el caso que hubiera un adecuado abastecimiento de humedad de agua al suelo en todo momento.

2.5 Descripción del SOFTWARE de Validación CROPWAT

El programa CROPWAT en su versión 8.0, es un programa informático para el cálculo de los requerimientos de agua de los cultivos y las necesidades de riego basados en información de suelo, clima y cultivos. Además, el programa permite el desarrollo de programas de riego para diferentes condiciones de gestión y el cálculo del esquema de suministro de agua para patrones de cultivo variables. CROPWAT 8.0 también se puede utilizar para evaluar las prácticas de riego de los agricultores y para estimar el rendimiento de los cultivos, tanto en condiciones de secano y de regadío².

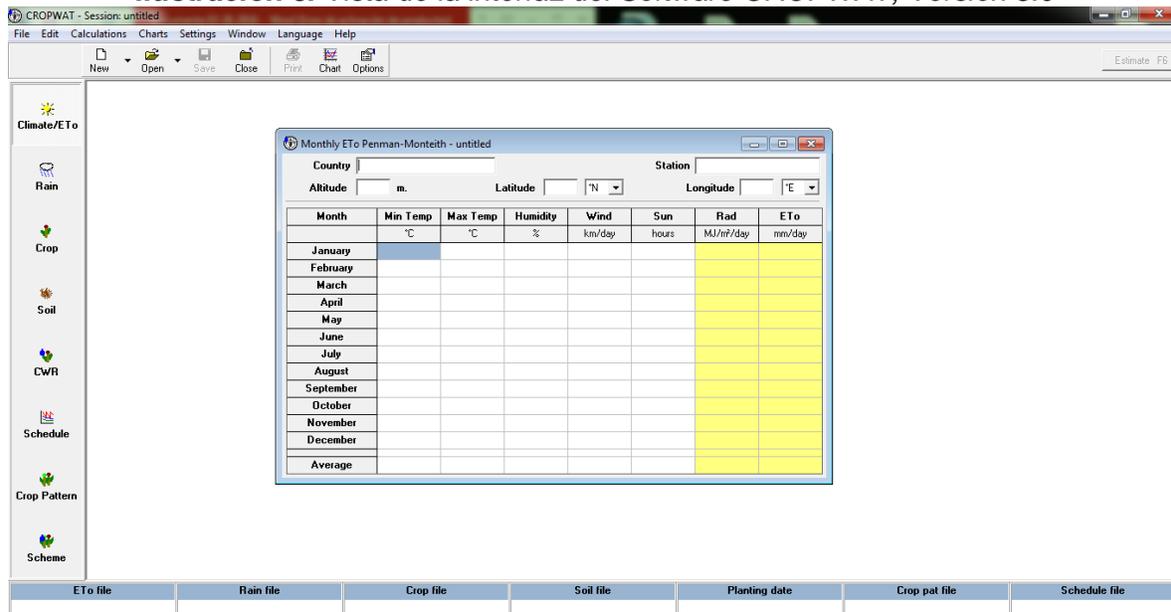
El desarrollo de programas de riego en CROPWAT 8.0 se basa en un equilibrio diario del suelo-agua. Cuenta con varias opciones para las condiciones de abastecimiento de agua y la gestión del riego. El esquema de suministro de agua se calcula de acuerdo con el patrón de cultivo definido por el usuario, que puede incluir hasta 20 cultivos. Todos los procedimientos de cálculo utilizados en CROPWAT 8.0 se basan en las dos publicaciones de la FAO de la Serie de Riego y Drenaje, a saber, N ° 56 " Evapotranspiración del cultivos

²FAO. (06 de junio de 2016). *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura - FAO*. Obtenido de http://www.fao.org/nr/water/infores_databases_cropwat.htm

- Directrices para el cálculo de los requerimientos de agua de los cultivos "Y N° 33 titulado" Respuesta de rendimiento al agua " (FAO, 2016).

En la **Ilustración 3** se presenta la interfaz de CROPWAT

Ilustración 3. Vista de la interfaz del Software CROPWAT, Versión 8.0



Fuente: *Autor*

- **Datos de Entrada al SOFTWARE**

Para ilustrar la forma en que se introducen la información al programa CROPWAT desarrollaremos un ejemplo donde calcularemos los requerimientos de riego para un cultivo de carotas negras (frijoles secos) a sembrarse en un área de Coro, Estado Falcón (Salazar, 1980).

Los datos de la estación meteorológica son los siguientes (ver **Ilustración 4**):

Ilustración 4. Datos Estación Meteorológica, para el ejemplo de los requerimientos de riego para un cultivo de Caraotas Negras a sembrarse en un área de Coro, Estado de Falcón – Venezuela

País: Venezuela **Estación :** Coro
Altitud: 16 msnm
Latitud: 11.25 °N **Longitud:** 69.41 °O

Mes	Temp. Max (°C)	Temp. Min (°C)	HR (%)	U2 (Km/d)	n (horas)	Prec. (mm)
Ene	31.0	21.0	76.0	199.0	7.6	47.0
Feb	31.2	21.2	73.0	242.0	8.0	25.0
Mar	31.7	21.7	67.0	242.0	9.1	8.0
Abr	32.7	22.7	83.0	251.0	7.1	12.0
May	33.4	23.4	78.0	156.0	8.0	38.0
Jun	33.6	23.6	74.0	156.0	8.7	22.0
Jul	33.3	23.3	70.0	164.0	9.2	31.0
Ago	33.7	23.7	69.0	156.0	9.1	38.0
Sept	34.0	24.0	79.0	138.0	7.6	54.0
Oct	33.4	23.4	79.0	130.0	7.4	69.0
Nov	32.6	22.6	81.0	147.0	7.0	49.0
Dic	31.4	21.4	78.0	164.0	7.3	60.0

Fuente: Trezza, R. (03 de junio de 2016). CROPWAT PARA WINDOWS. Obtenido de Manual de Usuario: http://webdelprofesor.ula.ve/nucleotrujillo/rtrezza/CROPWAT_MANUAL.pdf

El programa en su interface le solicita información básica para el cálculo del requerimiento hídrico del cultivo a estudiar. Esta información consta de los parámetros físicos de la retención de agua en el suelo, datos del cultivo e información del sistema de riego tales como la eficiencia y la frecuencia. Para el ejemplo de aplicación de programa se tomó la información contenida en la **Tabla 1**.

Tabla 1. Información Necesaria del suelo, cultivo y tipo de riego a utilizar para la entrada de datos al CROPWAT, ejemplo de uso del Software.

Datos del Suelo	Datos del Cultivo	Riego
Textura del Suelo: Franco CC = 24 %. PMP =13 % Da = 1.3 gr/cm3	Nombre del cultivo: Caraota Día de siembra: 20 de Abril Longitud de las etapas de desarrollo: 25 días (etapa inicial), 35 (desarrollo), 40 (intermedio); 20 (final).	Eficiencia del sistema de riego: 70% Se piensa regar con una frecuencia de 7 días

Datos del Suelo	Datos del Cultivo	Riego
Tasa de infiltración del suelo: 40 mm/día	Coeficientes de cultivo: 0.42 (etapa inicial), 1.15 (intermedia); 0.35 (final). Máxima profundidad radicular = 70 cm Umbral de riego recomendado para todas las etapas = 0.45 (45 %)	

Fuente: Autor - Trezza, R. (03 de junio de 2016). CROPWAT PARA WINDOWS. Obtenido de Manual de Usuario: http://webdelprofesor.ula.ve/nucleotrujillo/rtrezza/CROPWAT_MANUAL.pdf

- **Datos Climáticos:** En el menú principal seleccionamos *InputData > Climate > Enter/Modify*. Se abre la ventana de entrada de datos climáticos mensuales (*Monthly Climate Data*).

Ilustración 5. Ventana de la entrada de los datos relacionados con las variables climáticas

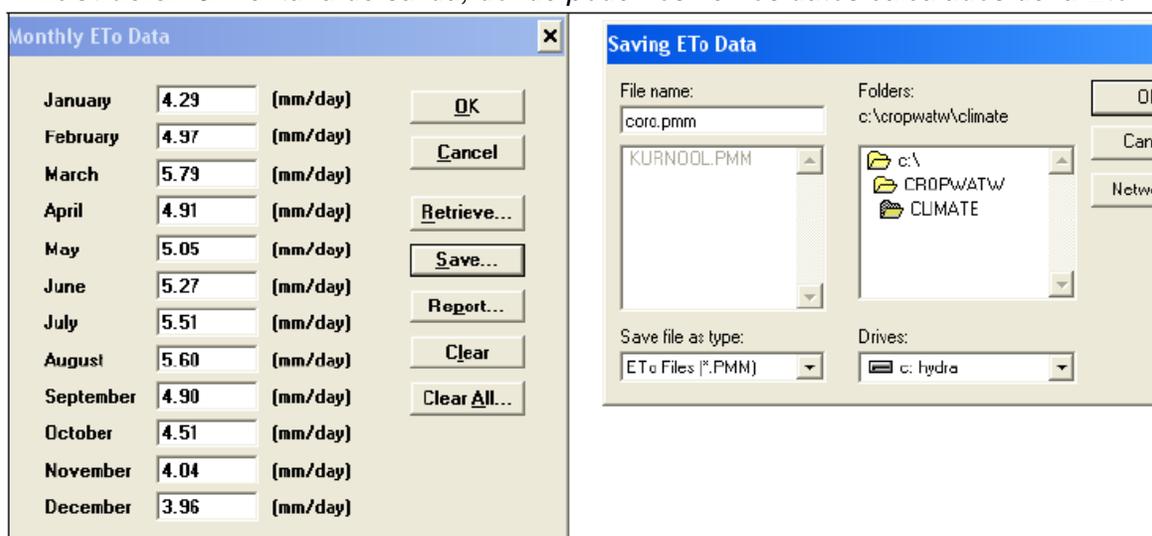
The screenshot shows the 'Monthly Climatic Data' dialog box. At the top, there are fields for Country (Venezuela), Station (Coro), Altitude (16 m), Latitude (11.25 N), and Longitude (69.41 W). Below these, there are controls for the month (January), with 'Previous' and 'Next' buttons, and a 'Clear' button. The main section contains input fields for Mean Maximum Temp (31.0), Mean Minimum Temp (21.0), Air Humidity (76.0), Wind Speed (@ 2m) (199.0), and Daily Sunshine (7.6), each with a unit dropdown menu. A 'Calculate ETo' button is present, followed by a display showing 4.29 (mm/day) and the method '[Penman-Monteith]'. At the bottom, there are buttons for 'Retrieve...', 'Save...', 'Report...', 'Clear All...', and 'OK'.

Fuente: Trezza, R. (03 de junio de 2016). CROPWAT PARA WINDOWS. Obtenido de Manual de Usuario: http://webdelprofesor.ula.ve/nucleotrujillo/rtrezza/CROPWAT_MANUAL.pdf

Se introducen todos los datos comenzando con el mes de enero. En realidad, en nuestro caso, debido a que el cultivo va a ser sembrado en abril, se introducen los datos desde el mes de abril y hasta el mes de agosto que es donde se realiza la cosecha. Sin embargo y a manera de ejercicio, se introducen todos los meses del año. Por ejemplo para el mes de enero se muestra en la **Ilustración 5** la ventana de entrada de datos.

- **Datos de Eto:** Los valores de ETo calculados anteriormente se pueden observar al seleccionar **InputData > ETo > Enter/Modify**. Aparecen los datos calculados previamente (ver **Ilustración 6**). Salvemos estos datos en un archivo presionando el botón “**Save**”. Como nombre usemos **coro.pmm**

Ilustración 6. Ventana de salida, donde podemos ver los datos calculados de la Eto

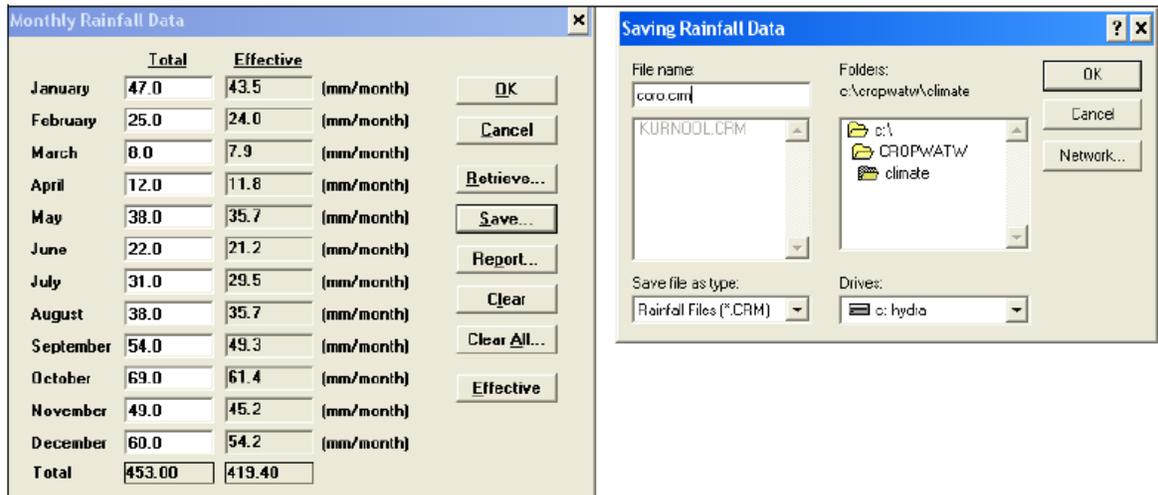


Fuente: Trezza, R. (03 de junio de 2016). CROPWAT PARA WINDOWS. Obtenido de Manual de Usuario: http://webdelprofesor.ula.ve/nucleotrujillo/rtrezza/CROPWAT_MANUAL.pdf

- **Datos de Lluvia:** El próximo paso consiste en introducir los datos de lluvia. En el menú principal seleccionamos **InputData > Rainfall > Enter/Modify**. Se abre la ventana de entrada de datos climáticos mensuales (**Monthly Rainfall Data**).

Se introducen los datos de precipitación total mes por mes, comenzando de enero. La precipitación efectiva es calculada automáticamente por el CROPWAT utilizando el método por defecto (ver **Ilustración 7**). Se guardan estos datos en un archivo presionando el botón “**Save**”. Como nombre usemos **coro.crm**

Ilustración 7. Ventana de salida, donde podemos ver los datos calculados de la Precipitación Total y Efectiva.



Fuente: Trezza, R. (03 de junio de 2016). CROPWAT PARA WINDOWS. Obtenido de Manual de Usuario: http://webdelprofesor.ula.ve/nucleotrujillo/rtrezza/CROPWAT_MANUAL.pdf

Si se quiere cambiar el método de cálculo de la precipitación efectiva darle clic al botón “**Effective**” de la ventana de “**Monthly Rainfall Data**”. Con lo que se abrirá otra ventana mostrando los distintos métodos de cálculo de la precipitación efectiva. Por defecto CROPWAT tiene activado el método del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (**USDA Soil Conservation Service Method**). Otro método útil es el “Fixed Percentage” donde si colocamos por ejemplo 80 entonces tomara el 80% de la precipitación total como la precipitación efectiva. Si no queremos considerar la precipitación (por seguridad en el calendario de riego) podemos colocar un porcentaje cercano a 0.

- **Datos del Cultivo:** Los datos del cultivo se introducen en dos (2) pasos.
 - a. Primero se introducen los datos del patrón del cultivo seleccionando **InputData > Crops > Cropping Pattern > Enter/Modify**.

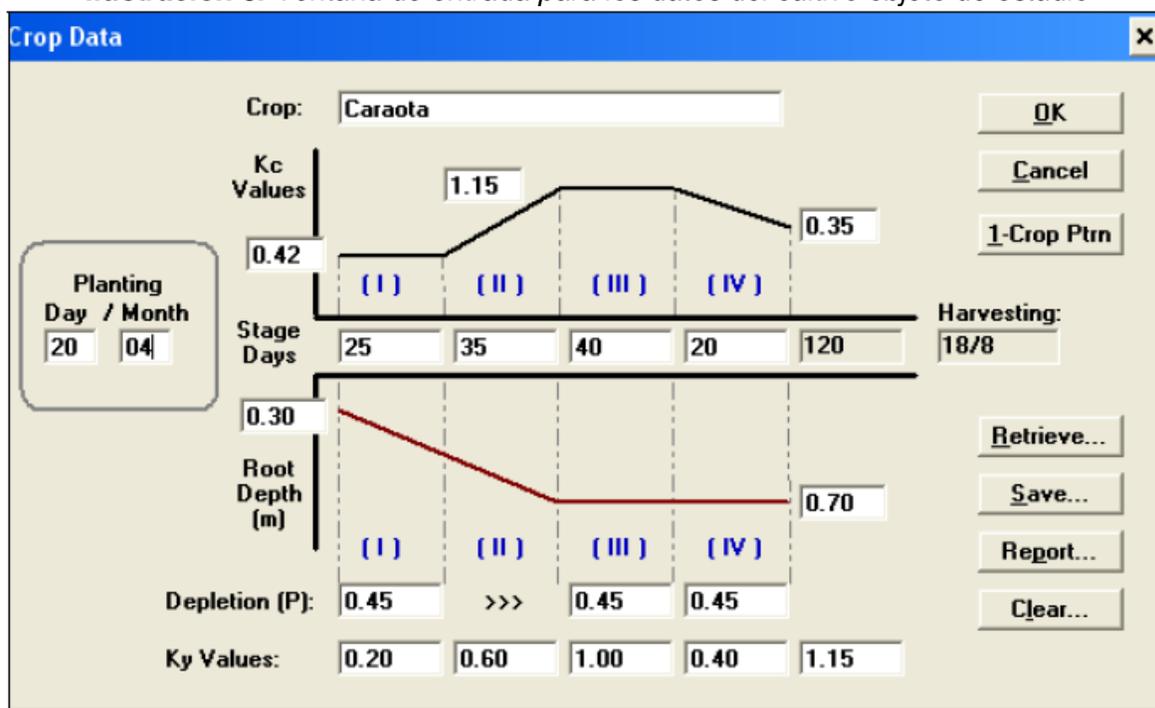
Crop: cultivo ; **Kc values:** valores de Kc correspondientes a la etapa inicial, intermedia y final; **Planting Day/Month:** Día y Mes de siembra; **Stage Days:** Longitud de las etapas de desarrollo del cultivo (inicial, desarrollo, intermedia, final); **Root Depth:** Profundidad radicular (valor inicial \cong 0,25 – 0,30 m y valor final = profundidad máxima que alcanzan las raíces del cultivo) **Depletion:** umbral de riego para las etapas inicial, intermedia

y final; **Ky Values**: valores de Ky para las cuatro etapas de desarrollo del cultivo (ver

Ilustración 8).

Una buena manera de llenar esta tabla cuando no se tiene alguna información (por ejemplo los valores de Ky) es de darle clic a “**Retrieve**” y buscar en la biblioteca del CROPWAT el cultivo a utilizar (o uno similar). En nuestro caso buscamos el archivo de “**Beans Dry**” que es el más aproximado a las caraotas negras.

Ilustración 8. Ventana de entrada para los datos del cultivo objeto de estudio



Fuente: Trezza, R. (03 de junio de 2016). CROPWAT PARA WINDOWS. Obtenido de Manual de Usuario: http://webdelprofesor.ula.ve/nucleotrujillo/rtrezza/CROPWAT_MANUAL.pdf

b. Posteriormente se introducen los datos del patrón del cultivo seleccionando **InputData > Crops > Cropping Pattern > Enter/Modify**

Crop No.: número del cultivo; **Crop Data File:** nombre del archivo que tiene los datos del cultivo (con el botón **Browse** se puede buscar el archivo). En nuestro caso debemos introducir aquí al archivo creado en el primer paso **caraota.cro**; **First Planting Day/Month**: Día y Mes de la primera siembra; **First Harvesting:** Primera cosecha;

Percentage of Total Area Planted to Crop: porcentaje del área total que se encuentra sembrada con el cultivo (ver **Ilustración 9**).

Number of Staggering Blocks: número de bloques de siembra, si se selecciona 1 significa que todo el cultivo será sembrado en la misma fecha de siembra en un solo bloque; si se selecciona 2 sembraremos el cultivo en dos bloques: el primero según la fecha de siembra introducida como **First Planting** y la segunda unos días después de sembrada la primera (este número de días se introduce en la celda "**Time interval; Between Planting of Blocks**" que se activará al colocar el número 2 mencionado).

Ilustración 9 Ventana de entrada para los datos del patrón del cultivo objeto de estudio

The screenshot shows the 'Cropping Pattern Planning' dialog box. The title bar is blue with the text 'Cropping Pattern Planning' and a close button. The main area is light beige. At the top, 'Crop No.' is '1' with buttons for '< Previous', 'Next >', and 'Delete'. Below that, 'Crop Data File' is 'C:\CROPWAT\CROPS\CARAOTA.CRO' with a 'Browse...' button. 'Crop:' is 'Caraota'. There are three columns of data: 'First Planting: Day / Month' with '20' and '4', 'First Harvesting:' with '18/8', and 'Percentage of Total Area Planted to Crop:' with '100'. A 'Staggering' section contains 'Number of Staggered Blocks:' with a dropdown set to '1'. Below this are three more fields: 'Time Interval Between Planting of Blocks: (Days)', 'Last Planting: Day / Month', and 'Last Harvesting:'. At the bottom, there are five buttons: 'Retrieve...', 'Save...', 'Clear All...', 'Graph', and 'OK'.

Fuente: Trezza, R. (03 de junio de 2016). CROPWAT PARA WINDOWS. Obtenido de Manual de Usuario: http://webdelprofesor.ula.ve/nucleotrujillo/rtrezza/CROPWAT_MANUAL.pdf

- **Datos del Suelo:** Antes de introducir los datos del suelo, debemos calcular la lámina almacenable por metro de profundidad utilizando la siguiente ecuación:

$$La = \frac{CC - PMP}{100} * Da * 1000 \left[\frac{mm}{m} \right]$$

En donde:

La: Lámina almacenable (mm/m)

CC: Capacidad de Campo (%)

PMP: Punto de Marchitez Permanente (%)

Da: Densidad Aparente del Suelo (gr/cm³)

- a. El próximo paso consiste en introducir los datos del suelo. En el menú principal seleccionamos **InputData > Soil > Enter/Modify**. Se abre la ventana de entrada de datos del suelo (**Monthly Rainfall Data**).

Ilustración 10. Ventana de entrada para los datos del suelo

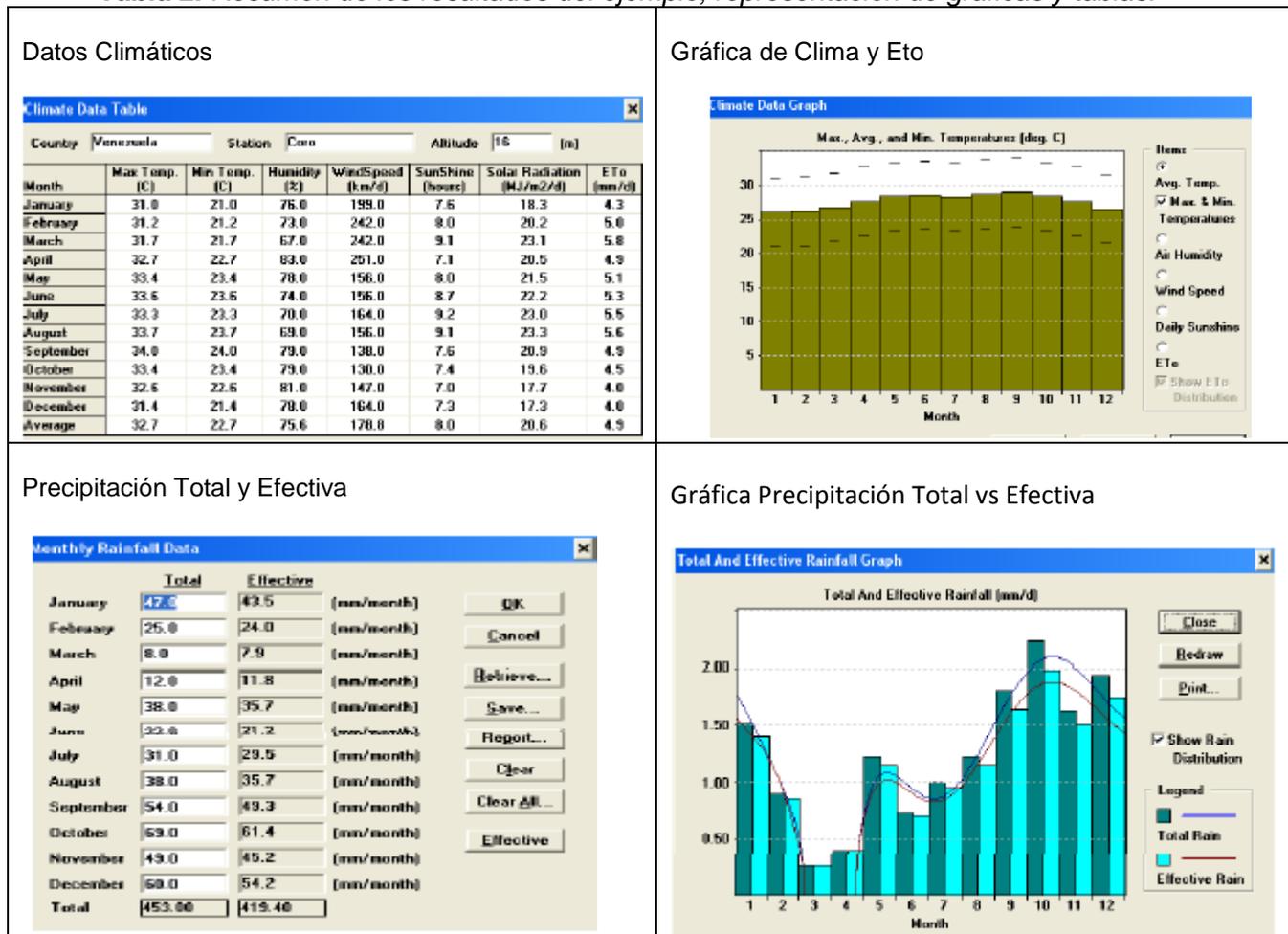
Field Name	Value	Unit	Action Button
Soil Description	Franco		
Total Available Soil Moisture	143.0	(mm/m depth)	
Maximum Rain Infiltration Rate	40	(mm/day)	Retrieve...
Maximum Rooting Depth	0.70	(m)	Save...
Initial Soil Moisture Depletion [% of Total Available Moisture]	0	(%)	Report...
Initial Available Soil Moisture	143.0	(mm/m depth)	Clear All...

Fuente: Trezza, R. (03 de junio de 2016). CROPWAT PARA WINDOWS. Obtenido de Manual de Usuario: http://webdelprofesor.ula.ve/nucleotrujillo/rtrezza/CROPWAT_MANUAL.pdf

Soil Description: descripción del suelo; **Total Available Soil Moisture** : lámina almacenable total en mm/m; **Maximum Rain Infiltration Rate:** tasa de infiltración máxima del suelo. **Initial Soil Moisture Depletion:** Agotamiento Inicial de humedad en el suelo. Si el suelo se encuentra a capacidad de campo, el agotamiento es de 0 %; si el suelo está seco el agotamiento es de 100%; **Initial Available Soil Moisture:** Humedad disponible inicial en el suelo en mm/m (ver **Ilustración 10**)

- **Resultados del Ejemplo:** Los resultados se presentan en Tablas y gráficos (ver **Tabla 2**) entrando al menú principal o dando clic a los íconos correspondientes en la barra de herramientas:

Tabla 2. Resumen de los resultados del ejemplo, representación de gráficas y tablas.



Fuente: Autor - Trezza, R. (03 de junio de 2016). CROPWAT PARA WINDOWS. Obtenido de Manual de Usuario: http://webdelprofesor.ula.ve/nucleotrujillo/rtrezza/CROPWAT_MANUAL.pdf

- **Tabla de resultados Requerimiento Hídrico del Cultivo:** Nótese que en promedio se requieren 0.59 l/s para regar cada hectárea de caraota (ir al final de la columna de FWS y ver el valor entre corchetes); el requerimiento en la etapa de máxima demanda es de 0.89 l/s/ha (ver **Ilustración 11**). Estos valores de FWS toman en cuenta la eficiencia del sistema de riego (en este caso 70%). Todos los valores (ETo, Kc, Lluvia, Lluvia efectiva, Requerimiento de Riego "Irrig. Req") corresponde al

periodo de 10 días seleccionado para la representación de los datos (que el CROPWAT toma por defecto).

Ilustración 11. Requerimiento del Cultivo de Caraota, ejemplo de aplicación de Software CROPWAT

Date	ETo (mm/period)	Crop Area (%)	Crop Kc	CWR (ETm) (mm/period)	Total Rain (mm/period)	Effect. Rain (mm/period)	Irrig. Req. (mm/period)	FWS (l/s/ha)
20/4	53.92	100.00	0.42	22.65	2.83	2.73	19.92	0.33
30/4	54.35	100.00	0.42	22.83	8.63	8.14	14.69	0.24
10/5	54.65	100.00	0.45	24.67	10.52	9.87	14.80	0.24
20/5	54.81	100.00	0.64	35.03	10.80	10.17	24.85	0.41
30/5	54.83	100.00	0.85	46.48	10.27	9.75	36.73	0.61
9/6	54.72	100.00	1.06	57.79	9.50	9.09	48.70	0.81
19/6	54.47	100.00	1.15	62.64	8.87	8.55	54.10	0.89
29/6	54.09	100.00	1.15	62.21	8.61	8.31	53.90	0.89
9/7	53.60	100.00	1.15	61.64	8.83	8.49	53.15	0.88
19/7	53.00	100.00	1.15	60.95	9.54	9.10	51.85	0.86
29/7	52.30	100.00	0.93	48.66	10.69	10.08	38.58	0.64
8/8	51.51	100.00	0.53	27.33	12.18	11.36	15.97	0.26
Total	646.26			532.85	111.27	105.64	427.21	[0.59]

Fuente: Trezza, R. (03 de junio de 2016). CROPWAT PARA WINDOWS. Obtenido de Manual de Usuario: http://webdelprofesor.ula.ve/nucleotrujillo/rtrezza/CROPWAT_MANUAL.pdf

3 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Para este estudio se empleó la metodología de Penman-Monteith propuesta por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación – FAO para determinar la Evapotranspiración Potencial (ET_o), y los diferentes métodos puestos por el Soil Conservation Service (SCS) del Departamento de Agricultura de EE.UU. a continuación se describirán las metodologías utilizadas.

3.1 Metodología para el Cálculo de la Evapotranspiración Potencial (ET_o) – Propuesta por Penman-Monteith.³

Para determinar la Evapotranspiración Potencial (ET_o) se trabajó con la metodología Penman-Monteith, propuesta por la FAO en el capítulo 2 del Estudio FAO Riego y Drenaje N° 56. Donde su ecuación general para el cálculo de dicha variable se describe a continuación:

$$ET_o = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 u_2)} \text{ [mm/día]}$$

En Donde:

ET_o: Evapotranspiración de Referencia (mm día⁻¹)

R_n: Radiación neta en la superficie del cultivo (MJ m⁻² día⁻¹)

R_a: Radiación Extraterrestre (mm día⁻¹)

G: Flujo del calor del suelo (MJ m⁻² día⁻¹)

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

u₂: Velocidad del viento a 2 m de altura (m s⁻¹)

e_s: Presión de vapor de saturación (KPa)

e_a: Presión real de vapor (KPa)

e_s – e_a: Déficit de presión de vapor (KPa)

Δ: Pendiente de la curva de presión de vapor (KPa °C⁻¹)

γ: Constante psicométrica (KPa °C⁻¹)

La evapotranspiración de referencia (ET_o) provee un estándar de comparación mediante el cual:

- Se puede comparar la evapotranspiración en diversos períodos del año o en otras regiones.

³ Allen, R. G., Luis S. Pereira, Dirk Raes, & Martin Smith. (Roma 2006). Evapotranspiración de Cultivos Guías para la determinación de Requerimientos de Agua de Los Cultivos. *Organización De Las Naciones Unidas Para La Agricultura (FAO)*, 17-28.

- Se puede relacionar la evapotranspiración de otros cultivos.

Radiación Neta de la Superficie del Cultivo (Rn): Es la diferencia entre la radiación entrante y saliente de longitudes de onda cortas y largas. Es el equilibrio entre la energía absorbida, reflejada y emitida por la superficie terrestre o la diferencia de la radiación de onda corta entrante neta (Rns) y la radiación de onda larga saliente neta (Rnl) (**Ilustración 12**). La Radiación Neta es normalmente positiva durante el día y negativa durante la noche. El valor diario total para Rn es casi siempre positivo para 24 horas, excepto en condiciones extremas de latitudes elevadas.

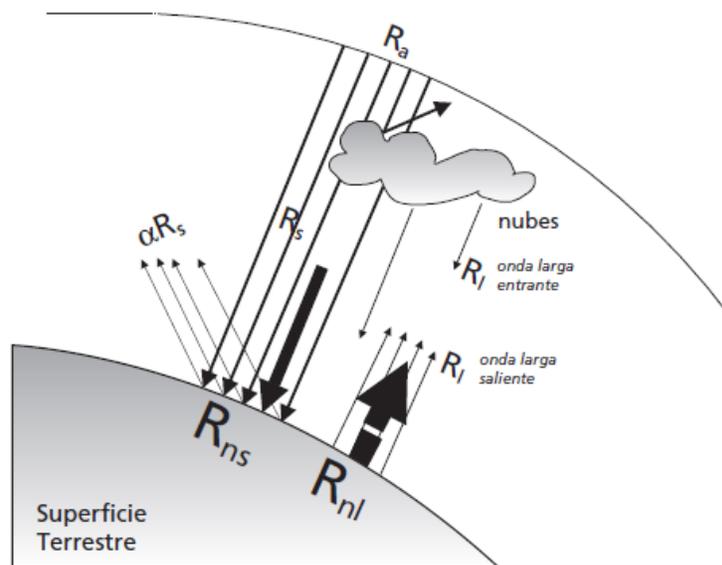
$$Rn = Rns - Rnl$$

En donde:

Rns: Radiación de onda corta entrante neta

Rnl: Radiación de onda larga saliente neta

Ilustración 12. Componentes de la Radiación



Fuente: (Allen, Luis S. Pereira, Dirk Raes, & Martin Smith, Roma 2006)

Radiación de onda corta entrante neta (Rns): Esta radiación es el resultante del equilibrio entre la radiación solar entrante y la reflejada, y está dada por la siguiente ecuación:

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

En donde:

α : Albedo o coeficiente de reflexión del cultivo, que es 0.23

R_s : Radiación solar entrante ($\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$)

Radiación de onda larga saliente neta (Rnl): Esta radiación se define como la cantidad de emisión de energía de onda larga, proporcional a la temperatura absoluta de la superficie elevada a la cuarta potencia, y esta está dada por la siguiente ecuación:

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

En donde:

Rnl : Radiación de onda larga saliente neta ($\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$)

σ : Constante de Stefan-Boltzmann ($4.903 \times 10^{-9} \text{ MJ K}^{-4} \text{ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$)

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

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

e_a : Presión real de vapor (KPa)

R_s/R_{so} : Radiación relativa de onda corta (valores < 1.0)

R_s : Radiación solar medida o calculada ($\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$)

R_{so} : Radiación en un día despejado ($\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$)

Radiación Solar (Rs): Si no se cuenta con mediciones directas de radiación solar, R_s , ésta puede ser calculada a través de la aplicación de la fórmula de Angstrom que relaciona la radiación solar con la radiación extraterrestre y la duración relativa de la insolación, y se muestra en la siguiente ecuación:

$$R_s = \left(a_s + b_s \frac{n}{N} \right) R_a$$

En donde:

R_s : Radiación Solar o de onda corta ($\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$)

n : Duración real de la insolación (horas)

N : Duración máxima posible de la insolación (horas)

n/N : Duración relativa de la insolación (horas)

R_a : Radiación extraterrestre ($\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$)

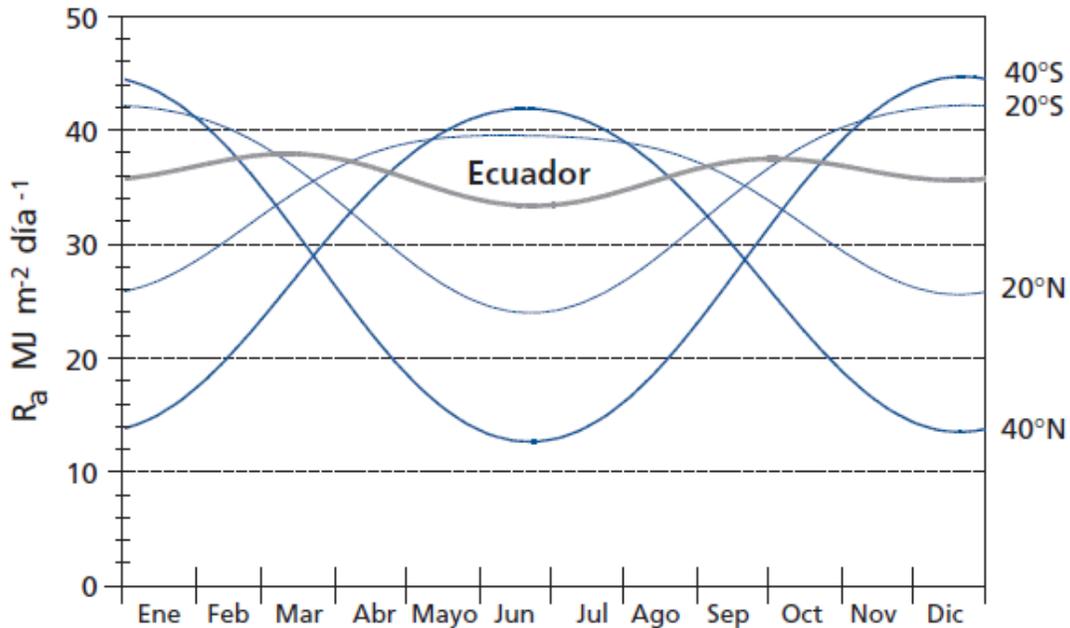
a_s : Constante de regresión, que expresa la fracción radiación extraterrestre que llega a la tierra en días muy nublados ($n=0$)

$a_s + b_s$: Fracción de la radiación extraterrestre que llega a la tierra en días despejados ($n=N$)

En casos en que no disponga de datos reales de radiación solar y cuando no se han realizado calibraciones previas a la ecuación mencionada, se recomienda usar valores de $a_s = 0,25$ y de $b_s = 0,50$.

Radiación Extraterrestre (R_a): los autores (Allen, Luis S. Pereira, Dirk Raes, & Martin Smith, Roma 2006), la definen como la radiación que choca a una superficie perpendicular a los rayos del sol en el extremo superior de la atmósfera terrestre, se llama constante solar, y tiene un valor aproximado de $0,082 \text{ MJ m}^{-2} \text{ min}^{-1}$. Siendo esta entonces una función de la latitud, la época del año y la hora del día. Los valores de R_a a lo largo del año para diversas latitudes se presentan en la **Ilustración 13**.

Ilustración 13. Variación anual de la radiación extraterrestre (R_a) en el ecuador, a los 20° y 40° de latitud norte y sur

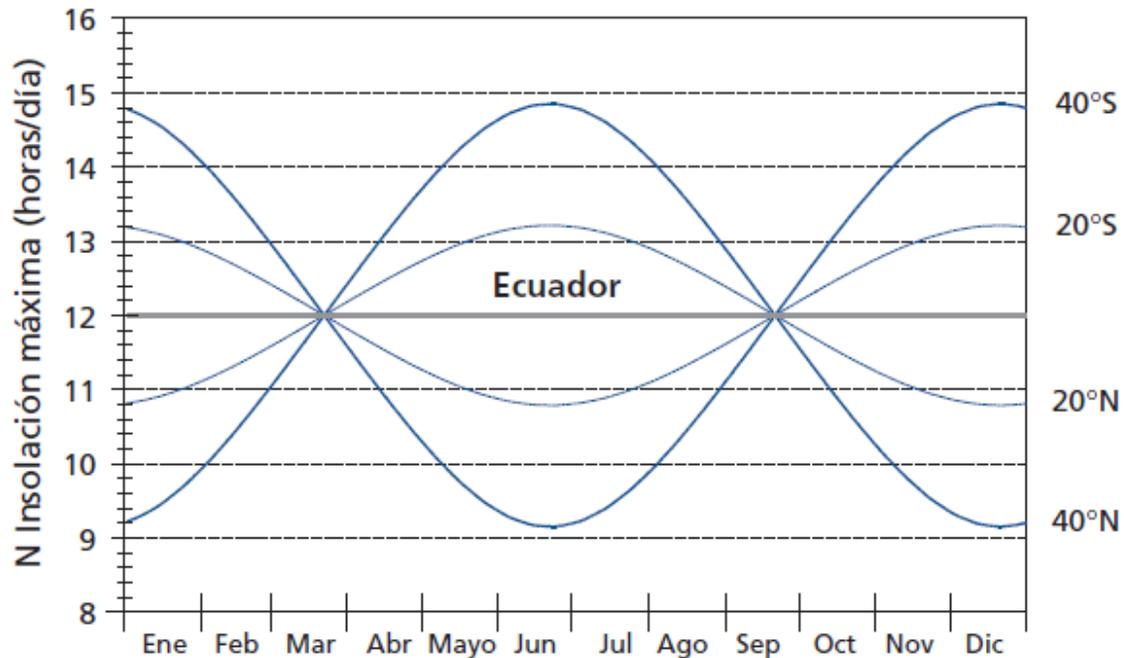


Fuente: (Allen, Luis S. Pereira, Dirk Raes, & Martin Smith, Roma 2006)

Duración Relativa de Insolación (n/N): La duración solar relativa es otro cociente que expresa la nubosidad atmosférica. Es el cociente de la duración real de la insolación, n , y la duración máxima posible de la insolación o de la luz del día N . Bajo condiciones de ausencia de nubosidad la duración real de la insolación es igual a la insolación máxima posible ($n = N$) y el cociente es uno, mientras que en días muy nublados n y el cociente puede tomar el valor de cero. En ausencia de datos directos de R_s , la duración solar relativa, n/N , se utiliza para derivar la radiación solar de la radiación extraterrestre.

Como ocurre con la radiación extraterrestre, la duración del día, N , depende de la posición del sol y es por lo tanto una función de la latitud y de la fecha. Los valores diarios de N a través del año, para diversas latitudes, se presentan en la **Ilustración 14**

Ilustración 14. Variación anual de las horas de luz del día (N) en el Ecuador a los 20° y 40° de latitud norte y sur



Fuente: (Allen, Luis S. Pereira, Dirk Raes, & Martin Smith, Roma 2006)

La Radiación solar en un día despejado (R_{so}), se calcula por medio de la siguiente fórmula:

$$R_{so} = (0.75 + 2 \times 10^{-5} z) R_a$$

En donde:

R_a : Radiación extraterrestre ($\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$)

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

Humedad Relativa (HR): es el cociente entre la cantidad de agua que el aire realmente contiene a una determinada temperatura y la cantidad que podría contener si estuviera saturado a la misma temperatura. Es adimensional y se expresa comúnmente como porcentaje. Aunque la presión real de vapor puede ser relativamente constante a lo largo del día, la humedad relativa fluctúa entre un máximo al amanecer y un mínimo a primeras horas de la tarde (**Ilustración 15**). La variación de la humedad relativa se produce porque la presión de saturación de vapor depende de la temperatura del aire. Como la temperatura

del aire cambia durante el día, la humedad relativa también cambia substancialmente. En conclusión, la humedad relativa (HR) expresa el grado de saturación del aire como el cociente entre la presión real de vapor (e_a) a una temperatura dada y la presión de saturación de vapor ($e^\circ(T)$) a la misma temperatura (T), como se muestra en la siguiente ecuación:

$$HR = \frac{e_a}{e^\circ(T)} * 100$$

Para el cálculo de la Presión de Vapor Real e_a es igual a:

$$e_a = \frac{HR}{100} * e^\circ(T)$$

En donde:

HR: Humedad relativa (%)

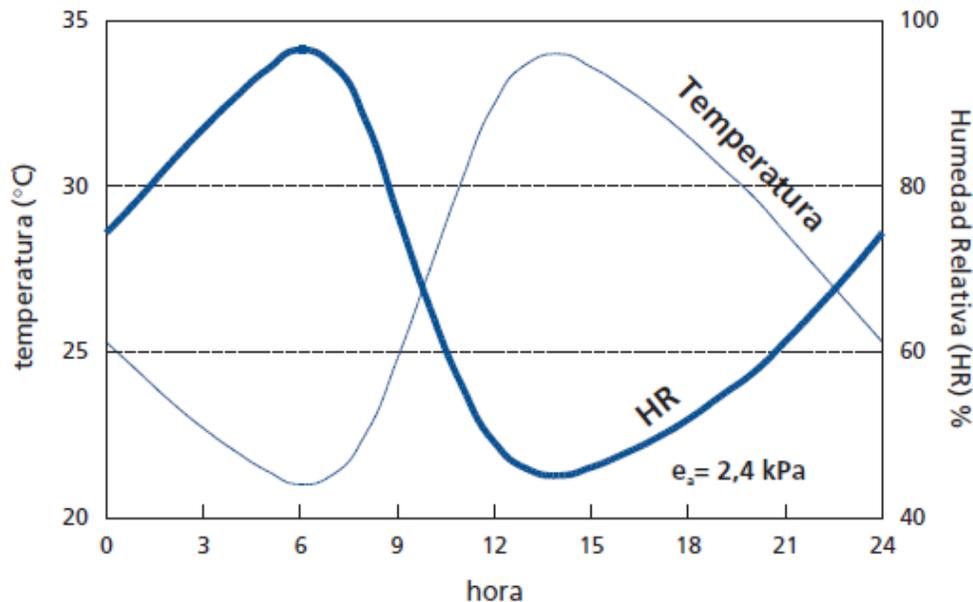
T: Es la temperatura (°C)

e° : es la presión de vapor de saturación a la temperatura T en Kp

Para determinar la presión de vapor de saturación a la temperatura $e^\circ(T)$, se puede calcular por medio de la siguiente expresión:

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

Ilustración 15. Variación de la humedad relativa durante un periodo de 24 horas para una presión real de vapor constante de 2,4 kPa



Fuente: (Allen, Luis S. Pereira, Dirk Raes, & Martin Smith, Roma 2006)

Constante Psicométrica (γ): La constante psicométrica (γ), se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$\gamma = \frac{c_p P}{\varepsilon \lambda} = 0.665 * 10^{-3}$$

En donde:

γ : Constante Psicométrica (KPa °C⁻¹)

P: Presión atmosférica (KPa)

λ : Calor latente de evaporación 2.45 (MJ Kg⁻¹)

c_p : Calor específico a presión constante (MJ Kg⁻¹ °C⁻¹)

ε : cociente del peso molecular de vapor de agua / aire seco = 0.622

Flujo de Calor del Suelo (G): El flujo del calor del suelo, es la energía que se utiliza para calentar el suelo. G tiene valores positivos cuando el suelo se calienta y negativos cuando el suelo se enfría. Aunque el flujo calórico del suelo es pequeño comparado con Rn y puede ser no considerado con frecuencia, la cantidad de energía ganada o perdida por el suelo en

este proceso teóricamente debe restarse o agregarse a R_n para estimar la evapotranspiración. Este fenómeno se puede calcular mediante la siguiente ecuación para periodos mensuales:

$$G_{mes,i} = 0.07 (T_{mes,i+1} - T_{mes,i-1})$$

En donde:

$T_{mes,i}$: Temperatura media del aire en el mes i ($^{\circ}\text{C}$)

$T_{mes,i-1}$: Temperatura media del aire en el mes $i-1$ ($^{\circ}\text{C}$)

$T_{mes,i+1}$: Temperatura media del aire en el mes $i+1$ ($^{\circ}\text{C}$)

Pendiente de la Curva de Presión de Vapor (Δ):

$$\Delta = \frac{4098 e^{\circ}(T)}{(T + 237,3)^2} = \frac{2504 \exp\left(\frac{17,27 T}{T + 237,2}\right)}{(T + 237,3)^2}$$

En donde:

Δ : Pendiente de la curva de presión de vapor ($\text{KPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$)

T : Temperatura del aire ($^{\circ}\text{C}$)

e° : Es la presión de vapor de saturación a la temperatura T en Kp

Velocidad del Viento (U_2): La velocidad del viento se mide usando anemómetros colocados siempre a una altura no menor de 2 m sobre el suelo, siguiendo las recomendaciones de la OMM. Los más comunes son los anemómetros de cazoletas. También es común el anemómetro a propulsión. Las mediciones llevadas por ambos tipos de anemómetros son confiables mientras se asegure un funcionamiento apropiado de las piezas mecánicas a través de un mantenimiento constante. Diseños de anemómetros más antiguos utilizan contadores mecánicos. Los anemómetros modernos se pueden equipar con generadores que generan una señal voltaica proporcional a la velocidad del viento.

Otros anemómetros se pueden equipar con pequeños interruptores magnéticos de láminas o con acopladores optoelectrónicas que generan impulsos eléctricos proporcionales a la velocidad del viento. Los dispositivos electrónicos se utilizan en estaciones meteorológicas automáticas. La exactitud de la medición de la velocidad del viento depende tanto de la localización como de la instrumentación. Para lograr mediciones representativas se requiere una localización del sensor en una zona libre de edificios y árboles.

Esta variable la obtenemos de los datos de las estaciones meteorológicas, o por medio de tablas como las que sugieren los autores (Allen, Luis S. Pereira, Dirk Raes, & Martin Smith, Roma 2006) a continuación.

Tabla 3. Relación de los vientos con su respectiva velocidad

Descripción	Velocidad media mensual del suelo a 2m de altura (m/s)
Vientos Suaves	<1.0
Vientos Suaves a Moderados	1-3
Vientos Moderados a Fuertes	3-5
Vientos Fuertes	>5.0

Fuente: Autor y (Allen, Luis S. Pereira, Dirk Raes, & Martin Smith, Roma 2006)

Determinación de la Velocidad del Viento (U_2): Es la velocidad del viento en (m/s) a una altura de 2m del suelo, se representa mediante la siguiente ecuación:

$$U_2 = U_z \frac{4.87}{\ln(67.8z - 5,42)}$$

En Donde:

U_2 : Velocidad del viento a 2m sobre la superficie del suelo (m/s)

U_z : Velocidad del viento medida a z m sobre la superficie del suelo (m/s)

z: altura de medición sobre la superficie (m)

3.2 Metodología para el Cálculo de la Precipitación Efectiva⁴

Autores como (Sánchez, 2010), realizaron estudios para determinar la precipitación neta o efectiva, utilizando el método propuesto por *el Soil Conservation Service*, actualmente *NRCS (National Resources Conservation Service)*.

El procedimiento que estableció empíricamente el Servicio de Conservación de Suelos USA (1972), es el que se tendrá en cuenta para la determinación de dicha variable en este trabajo, a continuación se muestra su ecuación general, según (Chow, 1994).

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S}$$

En donde:

P_e : Precipitación Neta o Efectiva (mm)

P : Precipitación Total (mm)

I_a : Abstracción Inicial de la Precipitación Total

La anterior ecuación es básica para el cálculo de la profundidad de excesos de precipitación o esorrentía directa de una tormenta utilizando el método SCS.

Al estudiar los resultados obtenidos para muchas cuencas experimentales pequeñas, se desarrolló una relación empírica (Chow, 1994),

$$I_a = 0.2 S$$

Con base a lo anterior

$$P_e = \frac{(P - 0.2 S)^2}{P + 0.8 S}$$

⁴ Sánchez, F. J. (2010). *Calculo de la Precipitación Neta mediante el método del S.C.S. España: Departamento de Geología, Universidad Salamanca.*

Numero de Curva (CN): En el estudio de la escorrentía superficial el Soil Conservation Service desarrolló un método denominado el número de curva de escorrentía CN, para calcular las abstracciones de una tormenta. Incluye la intercepción, la detención superficial y la infiltración propiamente dicha, (Monsalve, 1999). El número de curva varía entre 1 y 100 (**S**).

Lo anterior teniendo en cuenta:

- I. Tipo de Suelo Hidrológico
- II. Utilización y tratamiento del suelo
- III. Condiciones de la superficie del terreno
- IV. Condición de humedad antecedente del suelo

Para la estimación del número de curva se utilizan tablas en las que se encuentran disponibles, teniendo en cuenta el uso y la condición hidrológica del suelo. Para esto se utiliza el mapa de Uso de Suelo.

Clasificación hidrológica de suelo⁵: Para el uso del método del Soil Conservation Service se ha definido (4) cuatro grupos hidrológicos (A, B, C y D), esto de acuerdo con el potencial de escurrimiento, los cuales se describen a continuación.

A - Bajo potencial de escorrentía: Suelos que tienen alta tasa de infiltración aun cuando estén muy húmedos. Compuestos por arenas gravas profundas bien a excesivamente drenados.

B - Moderadamente bajo potencial de escorrentía: Suelos con tasa de infiltración moderada cuando están muy húmedos. Suelos moderadamente profundos a profundos,

⁵ Monsalve, G (1999). *Hidrología en la Ingeniería*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería .

moderadamente bien drenado a bien drenados, suelos con texturas moderadamente finas a moderadamente gruesas, y permeabilidad moderadamente lenta a moderadamente rápida. Son suelos con tasa de transmisión de agua moderada.

C - Moderadamente alto potencial de escorrentía: Suelos con infiltración lenta cuando están muy húmedos. Consisten de suelos con un estrato que impide el movimiento del agua hacia abajo; suelos de textura moderadamente finas a finas; suelos con infiltración lenta debido a sales o álcali, o suelos con niveles freáticos moderados. Estos suelos pueden ser pobremente drenados o bien a moderadamente bien drenados, con estratos de permeabilidad lenta a muy lenta a poca profundidades de 50 a 10cm.

D - Alto potencial de escorrentía: Suelos con infiltración muy lenta cuando están muy húmedos. Consisten de suelos arcillosos con alto potencial de expansión; suelos con nivel freático alto permanente; suelos con estrato arcilloso superficial; suelos con infiltración muy lenta debido a sales o álcali, y suelos poco profundos sobre material.

Autores como (Chow, 1994), presenta los valores de CN para varios tipos de suelos y con diferentes usos de la tierra como se puede observar en la ***Ilustración 16***.

Ilustración 16. CN de escorrentía para usos selectos de tierra agrícola, sub urbana y urbana en condiciones normales (CN II)

Descripción del uso de la tierra	Grupo hidrológico del suelo			
	A	B	C	D
Tierra cultivada ¹ : sin tratamientos de conservación	72	81	88	91
con tratamientos de conservación	62	71	78	81
Pastizales: condiciones pobres	68	79	86	89
condiciones óptimas	39	61	74	80
Vegas de ríos: condiciones óptimas	30	58	71	78
Bosques: troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas, cubierta buena ²	45 25	66 55	77 70	83 77
Áreas abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc. óptimas condiciones: cubierta de pasto en el 75% o más	39	61	74	80
condiciones aceptables: cubierta de pasto en el 50 al 75%	49	69	79	84
Áreas comerciales de negocios (85% impermeables)	89	92	94	95
Distritos industriales (72% impermeables)	81	88	91	93
Residencial ³ :				
Tamaño promedio del lote Porcentaje promedio impermeable ⁴				
1/8 acre o menos 65	77	85	90	92
1/4 acre 38	61	75	83	87
1/3 acre 30	57	72	81	86
1/2 acre 25	54	70	80	85
1 acre 20	51	68	79	84
Parqueaderos pavimentados, techos, accesos, etc. ⁵	98	98	98	98
Calles y carreteras:				
Pavimentados con cunetas y alcantarillados ⁵	98	98	98	98
grava	76	85	89	91
tierra	72	82	87	89

1 Para una descripción más detallada de los números de curva para usos agrícolas de la tierra, remitirse a Soil Conservation Service, 1972, Cap. 9

2 Una buena cubierta está protegida del pastizaje, y los desechos del retiro de la cubierta del suelo.

3 Los números de curva se calculan suponiendo que la escorrentía desde las casas y de los accesos se dirige hacia la calle, con un mínimo del agua del techo dirigida hacia el césped donde puede ocurrir infiltración adicional.

4 Las áreas permeables restantes (césped) se consideran como pastizales en buena condición para estos números de curva.

5 En algunos países con climas más cálidos se puede utilizar 95 como número de curva.

Fuente: Chow, V. T. (1994). Hidrología Aplicada.

La P neta, en función de la P total, para distintos valores de S se consideró conveniente el siguiente cambio de variable:

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \text{ (Pulg)}$$

Si la máxima abstracción (S) no está expresada en pulgadas sino en mm, la expresión anterior se convierte en la siguiente:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 = \frac{25400 - 254CN}{CN} \text{ (mm)}$$

3.3 Determinación Uso Consuntivo (UC)

(Salazar, 1980), define el coeficiente de uso consuntivo (UC) de un cultivo como la relación entre la demanda de agua del cultivo mantenido a niveles óptimos (ETA) y la demanda del cultivo de referencia (ETP) es decir:

$$UC = \frac{ETA}{ETP}$$

En donde:

ETA: Es la evapotranspiración potencial del cultivo (mm)

ETP: Es la evapotranspiración potencial del cultivo de referencia (mm)

Evapotranspiración del cultivo de referencia (ETP): Llamada también evapotranspiración de referencia, es la que se produciría en un campo de gramíneas (pastos y cereales, por ejemplo) de 12 cm de altura, sin falta de agua y con determinadas características óptimas⁶.

⁶ Salazar, L. (1980). *Guía para estudios de Evapotranspiración e Instalación de parcelas demostrativas con riego por superficie. USA: Internacional Irrigation.*

3.4 Determinación de la Necesidad de Riego (NR)

Las Necesidades de Riego Neta (RN), es decir, sin tener en cuenta las pérdidas en la operación de los sistemas de irrigación, y se refieren por lo tanto a todo el requerimiento a la lámina de agua que se debe incorporar al suelo, mediante irrigación, para suplir el déficit entre el uso consuntivo y la precipitación efectiva (Pe). Este se representa mediante la siguiente ecuación:

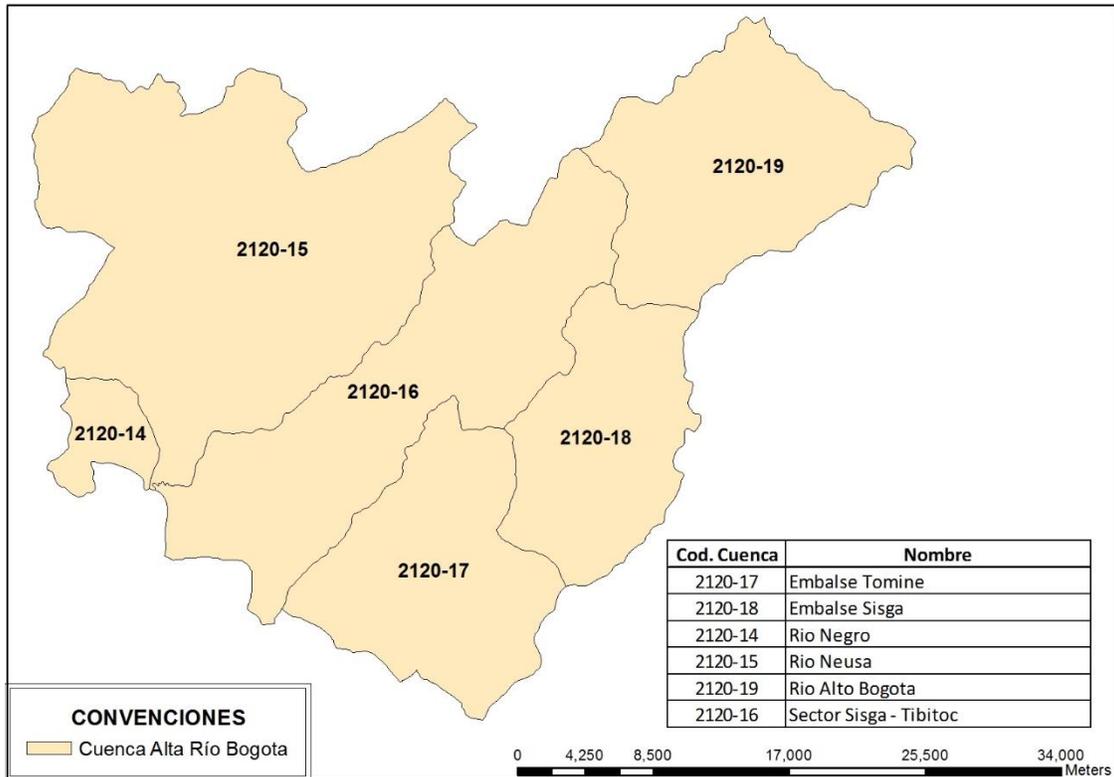
$$NR = (UC - Pe)$$

4 DETERMINACIÓN DE LOS MÓDULOS DE CONSUMO AGRÍCOLA PARA LA CUENCA ALTA DEL RÍO BOGOTÁ

4.1 Identificación Zona de Estudio

Para este trabajo se decidió trabajar con las subcuencas de tercer orden que conforman la cuenca alta del río Bogotá, las cuales son: Cuenca Alta Bogotá, Sector Sisga - Tibitoc, Embalse del Sisga, Embalse del Tominé, Río Neusa y Río Negro (ver **Ilustración 17**); que tienen una extensión aproximada de 1.550,91 Km², con alturas que van desde los 2.550 m.s.n.m. hasta los 3.700 m.s.n.m.

Ilustración 17. Cuencas de tercer orden que conforman la cuenca alta del río Bogotá

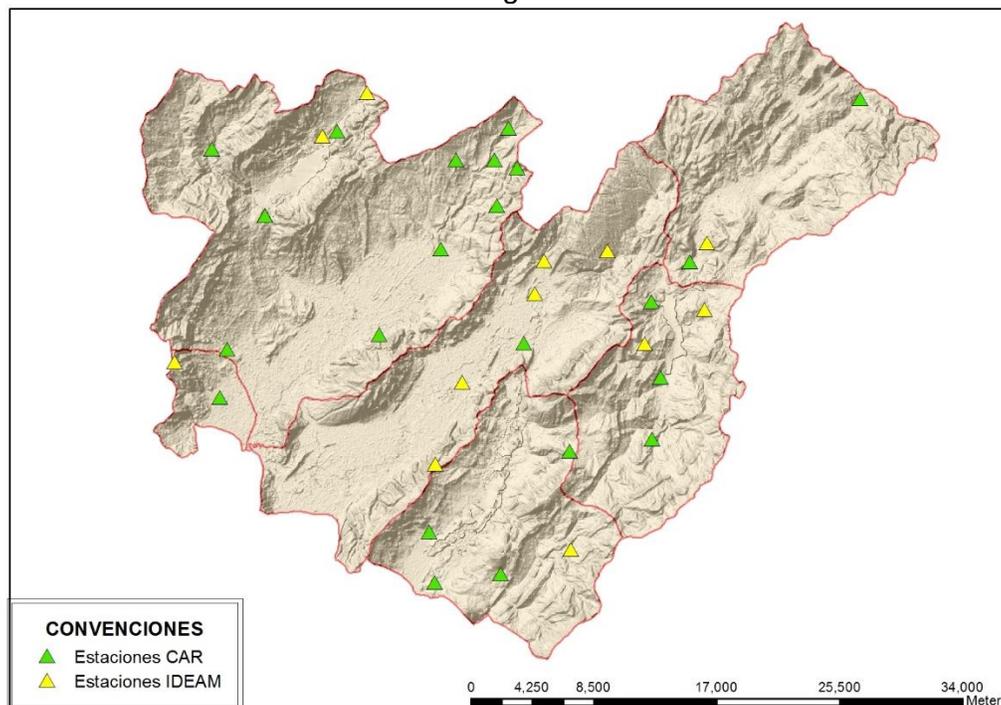


Fuente: CAR - Autor

4.2 Clasificación de Estaciones Meteorológicas

La información de las variables climáticas a utilizar (precipitación, números de días con lluvia, temperatura, brillo solar, velocidad del viento y humedad relativa), proviene de registros de la red climática del IDEAM y de la CAR entre 1981 y 2013, las estaciones que se tenían en la zona de estudio se pueden observar en la **Ilustración 18**.

Ilustración 18. Estaciones de la CAR y del IDEAM, en la zona de estudio cuenca Alta Río Bogotá



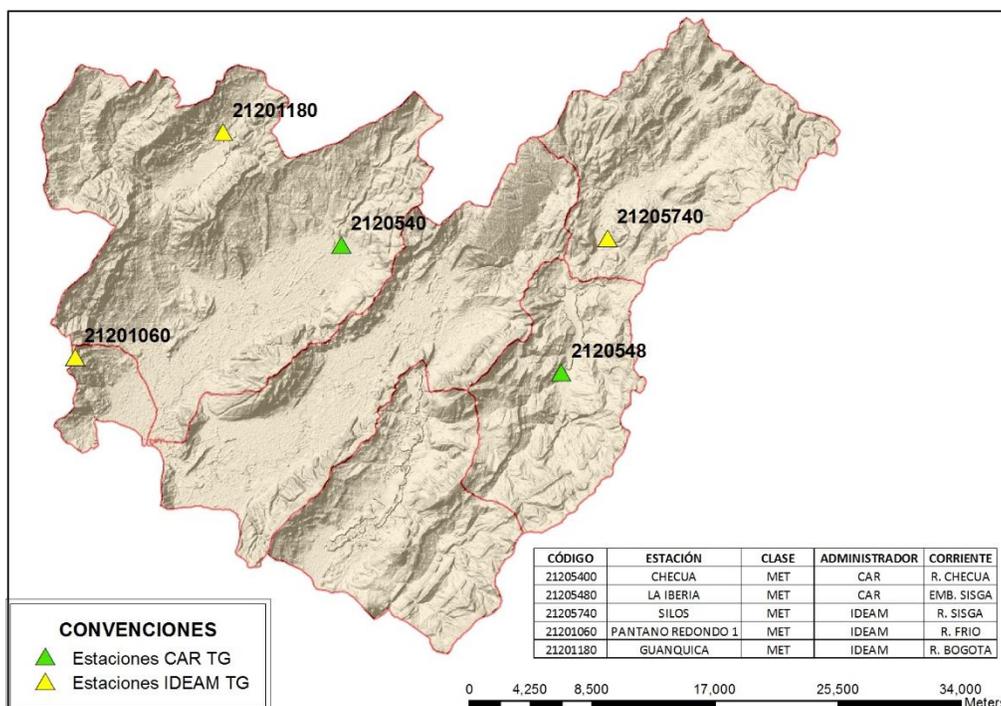
Fuente: CAR – Autor

4.3 Datos Estaciones Meteorológicas

Se tomó información de 22 estaciones de la CAR y 12 del IDEAM, con variables disponibles de precipitación, temperatura, humedad relativa, dirección y velocidad del viento y brillo solar, a escala diaria; al momento de validar la información mediante un tratamiento estadístico, se determinó que 5 estaciones presentan valores representativos basados en la evaluación de un periodo mínimo de 32 años.

Se verificaron cuáles eran las estaciones que tenían la mayor cantidad de información disponible en cuanto a las variables anteriormente anunciadas, y se seleccionaron las estaciones que se muestran en la **Ilustración 19**, cabe resaltar que se trabajó con registro diarios entre los años 1981 a 2013.

Ilustración 19. Estaciones de la CAR y del IDEAM, escogidas para el estudio



Fuente: CAR – Autor

4.3.1 Estación Silos (Cód. 212054800)

Esta estación está ubicada en el Municipio de Chocontá departamento de Cundinamarca, en las coordenadas W: 73°42'5.1" y N: 5°7'3.8", con una elevación sobre el nivel del mar de 2.709 m.s.n.m. su entidad administradora es el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM.

Tabla 4. Datos mensuales multianuales estación Silos (21205740)

Estación Silos (21205740)							
Mes	Precipitación (mm)	Días Con Lluvia (n)	Temperatura (°C)		Brillo Solar (h/día)	Humedad Relativa (%)	Velocidad del Viento (m/s)
			Máxima	Mínima			
Enero	17.64	7.33	18.18	6.60	6.55	78.68	2.60
Febrero	38.94	9.33	18.43	7.61	5.83	78.45	3.50
Marzo	58.27	13.00	18.38	8.20	4.69	79.10	3.40
Abril	87.83	18.15	17.61	9.02	3.68	82.00	3.20
Mayo	119.91	23.00	16.97	9.08	3.70	83.55	3.10
Junio	129.25	25.44	15.74	8.86	2.54	83.80	3.20
Julio	144.26	25.15	15.15	8.52	3.11	83.20	3.20
Agosto	107.44	23.41	15.74	8.47	3.55	83.10	3.00

Estación Silos (21205740)							
Mes	Precipitación (mm)	Días Con Lluvia (n)	Temperatura (°C)		Brillo Solar (h/día)	Humedad Relativa (%)	Velocidad del Viento (m/s)
			Máxima	Mínima			
Septiembre	69.96	17.89	16.51	7.95	4.09	82.60	2.50
Octubre	77.58	17.44	17.22	8.22	4.31	82.50	2.20
Noviembre	61.56	16.35	17.54	8.35	4.63	80.78	2.60
Diciembre	24.62	9.08	17.74	7.29	5.94	79.70	2.40

Fuente: IDEAM – Autor

4.3.2 Estación Checua Nemocón (Cód. 21205400)

Esta estación está ubicada en el Municipio de Nemocón departamento de Cundinamarca, en las coordenadas W: 73°52'0.0" y N: 5°7'0.0", con una elevación sobre el nivel del mar de 2.580 m.s.n.m. su entidad administradora es la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR.

Tabla 5. Datos mensuales multianuales estación Checua Nemocón (212005400)

Estación Checua Nemocón (21205400)							
Mes	Precipitación (mm)	Días Con Lluvia (n)	Temperatura (°C)		Brillo Solar (h/día)	Humedad Relativa (%)	Velocidad del Viento (m/s)
			Máxima	Mínima			
Enero	31.55	4.26	20.6	7.09	6.30	72.50	2.00
Febrero	43.57	7.25	20.2	8.14	5.12	73.13	1.50
Marzo	56.57	9.35	20.8	8.66	5.07	73.50	1.70
Abril	89.15	11.50	19.7	10.14	4.09	79.13	1.80
Mayo	100.35	14.35	18.9	10.45	4.06	80.38	1.80
Junio	83.81	11.75	17.9	9.78	3.34	81.00	1.80
Julio	96.58	14.68	17.9	10.00	4.55	80.25	1.60
Agosto	73.61	14.60	18.5	9.45	4.00	78.88	1.50
Septiembre	66.64	10.75	19.2	9.07	4.70	77.38	1.50
Octubre	81.13	12.00	19.9	9.53	4.41	78.88	1.80
Noviembre	77.99	11.33	20.4	9.81	4.54	79.00	2.10
Diciembre	45.76	6.63	20.5	8.00	5.37	76.38	2.00

Fuente: CAR – Autor

4.3.3 Estación La Iberia (Cód. 212054800)

Esta estación está ubicada en el Municipio de Chocontá departamento de Cundinamarca, en las coordenadas W: 73°44'3.6" y N: 5°3'28.7", con una elevación sobre el nivel del mar de 2.760 m.s.n.m. su entidad administradora es la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR.

Tabla 6. Datos mensuales multianuales estación La Iberia (212054800)

Estación La Iberia (21205800)							
Mes	Precipitación (mm)	Días Con Lluvia (n)	Temperatura (°C)		Brillo Solar (h/día)	Humedad Relativa (%)	Velocidad del Viento (m/s)
			Máxima	Mínima			
Enero	15.39	6.60	19.0	5.87	5.32	82.90	1.40
Febrero	29.52	8.71	19.3	6.63	4.50	82.50	1.90
Marzo	43.71	11.19	19.3	7.88	3.98	83.76	1.70
Abril	95.61	17.76	18.4	8.57	3.09	87.05	1.80
Mayo	101.00	20.66	17.2	8.68	2.81	88.13	1.40
Junio	117.00	24.52	16.2	8.80	2.25	89.96	1.40
Julio	102.80	23.61	15.8	8.68	2.76	90.57	1.60
Agosto	82.82	23.04	16.3	8.10	3.24	89.50	1.20
Septiembre	69.95	19.66	16.9	7.53	3.20	87.43	1.50
Octubre	76.04	16.57	17.7	7.53	3.65	85.82	1.80
Noviembre	53.10	13.85	18.4	7.83	4.33	85.86	1.90
Diciembre	31.65	8.86	18.6	6.44	4.91	85.15	1.70

Fuente: CAR – Autor

4.3.4 Estación Guanquica (Cód. 212054800)

Esta estación está ubicada en el Municipio de Tausa departamento de Cundinamarca, en las coordenadas W: 73°56'28.0" y N: 5°11'3.4", con una elevación sobre el nivel del mar de 2.950 m.s.n.m. su entidad administradora es el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM.

Tabla 7. Datos mensuales multianuales estación Guanquica (212011800)

Estación Guanquica (212011800)							
Mes	Precipitación (mm)	Días Con Lluvia (n)	Temperatura (°C)		Brillo Solar (h/día)	Humedad Relativa (%)	Velocidad del Viento (m/s)
			Máxima	Mínima			
Enero	28.24	6.32	18.2	6.60	6.55	82.90	2.00
Febrero	42.09	8.40	18.4	7.61	5.83	82.50	1.50
Marzo	85.96	12.19	18.4	8.20	4.69	83.76	1.70
Abril	94.75	14.77	17.6	9.02	3.68	87.05	1.80
Mayo	99.56	17.50	17.0	9.08	3.70	88.13	1.80
Junio	60.25	18.00	15.7	8.86	2.54	89.96	1.80
Julio	62.29	18.19	15.1	8.52	3.11	90.57	1.60
Agosto	55.37	17.35	15.7	8.47	3.55	89.50	1.50
Septiembre	66.19	14.00	16.5	7.95	4.09	87.43	1.50
Octubre	112.90	16.85	17.2	8.22	4.31	85.82	1.80
Noviembre	101.27	15.27	17.5	8.35	4.63	85.86	2.10
Diciembre	45.53	8.46	17.7	7.29	5.94	85.15	2.00

Fuente: IDEAM – Autor

4.3.5 Estación Pantano Redondo 1 (Cód. 212010600)

Esta estación está ubicada en el Municipio de Zipaquirá departamento de Cundinamarca, en las coordenadas W: 74°2'0.2" y N: 5°2'35.7", con una elevación sobre el nivel del mar de 3.160 m.s.n.m. su entidad administradora es el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM.

Tabla 8. Datos mensuales multianuales estación Pantano Redondo 1 (212010600)

Estación Pantano Redondo 1 (212010600)							
Mes	Precipitación (mm)	Días Con Lluvia (n)	Temperatura (°C)		Brillo Solar (h/día)	Humedad Relativa (%)	Velocidad del Viento (m/s)
			Máxima	Mínima			
Enero	39.12	10	13.4	7.44	6.19	75.38	2.00
Febrero	54.09	11	13.6	8.02	5.56	77.50	1.50
Marzo	77.60	15	13.9	8.40	4.59	78.25	1.70
Abril	128.57	18	14.2	9.63	3.91	80.13	1.80
Mayo	149.22	22	13.8	9.77	3.73	81.38	1.80
Junio	104.65	21	13.5	9.41	3.80	81.00	1.80
Julio	111.00	23	13.4	9.51	4.03	79.25	1.60
Agosto	94.22	21	13.5	9.09	4.20	78.43	1.50
Septiembre	89.00	19	13.6	8.93	4.17	78.14	1.50

Estación Pantano Redondo 1 (212010600)							
Mes	Precipitación (mm)	Días Con Lluvia (n)	Temperatura (°C)		Brillo Solar (h/día)	Humedad Relativa (%)	Velocidad del Viento (m/s)
			Máxima	Mínima			
Octubre	138.55	19	13.4	9.21	4.34	81.13	1.80
Noviembre	109.75	16	13.5	8.96	4.81	80.63	2.10
Diciembre	58.72	13	13.5	8.16	5.41	78.63	2.00

Fuente: IDEAM – Autor

4.4 Priorización de los Cultivos por Cuenca de Tercer Orden

Esta priorización de los cultivos se realizó verificando las principales producciones por municipio, esto según el anuario estadístico de la gobernación de Cundinamarca y la información brindada por la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR. Se priorizaron los cultivos más representativos e importantes por el grado de impacto que generan al recurso hídrico y a la demanda de solicitudes de concesiones de agua, información suministrada por la CAR.

4.4.1 Cultivos Priorizados Cuenca de Tercer Orden Alta Río Bogotá

Para esta cuenca, en el presente estudios se van a tener en cuenta los siguientes cultivos:

Tabla 9. Cultivos Cuenca Alta río Bogotá

Papa	Arveja	Flores (Invernadero)
Maíz (Choclo)	Cebada	Trigo
Fresas	Pastos	Tomate

Fuente: Autor

4.4.2 Cultivos Priorizados Cuenca de Tercer Orden Sector Sisga – Tibitoc

Para esta cuenca, en el presente estudios se van a tener en cuenta los siguientes cultivos:

Tabla 10. Cultivos Cuenca Sector Sisga Tibitoc

Cebolla	Arveja	Frijol
Maíz (Choclo)	Cebada	Berenjena
Fresas	Pastos	Zanahoria
Cebolla	Tomate	Pimentón Dulce

Fuente: Autor

4.4.3 Cultivos Priorizados Cuenca de Tercer Orden Embalse del Sisga

Para esta cuenca, en el presente estudios se van a tener en cuenta los siguientes cultivos:

Tabla 11. Cultivos Cuenca Embalse del Sisga

Pastos	Papa	Maíz (Choclo)
Trigo	Cebada	Flores (Invernadero)
Hortalizas	Legumbres	Durazno

Fuente: Autor

4.4.4 Cultivos Priorizados Cuenca de Tercer Orden Embalse de Tominé

Para esta cuenca, en el presente estudios se van a tener en cuenta los siguientes cultivos:

Tabla 12. Cultivos Cuenca Embalse de Tominé

Pastos	Papa	Maíz (Choclo)
Trigo	Cebada	Flores (Invernadero)
Hortalizas	Legumbres	Moras

Fuente: Autor

4.4.5 Cultivos Priorizados Cuenca de Tercer Orden río Neusa

Para esta cuenca, en el presente estudios se van a tener en cuenta los siguientes cultivos:

Tabla 13. Cultivos Cuenca río Neusa

Pastos	Cítricos	Maíz (Choclo)
Trigo	Cebada	Flores (Invernadero)
Hortalizas	Legumbres	Durazno

Fuente: *Autor*

4.4.6 Cultivos Priorizados Cuenca de Tercer Orden Río Negro

Para esta cuenca, en el presente estudios se van a tener en cuenta los siguientes cultivos:

Tabla 14. Cultivos Cuenca río Negro

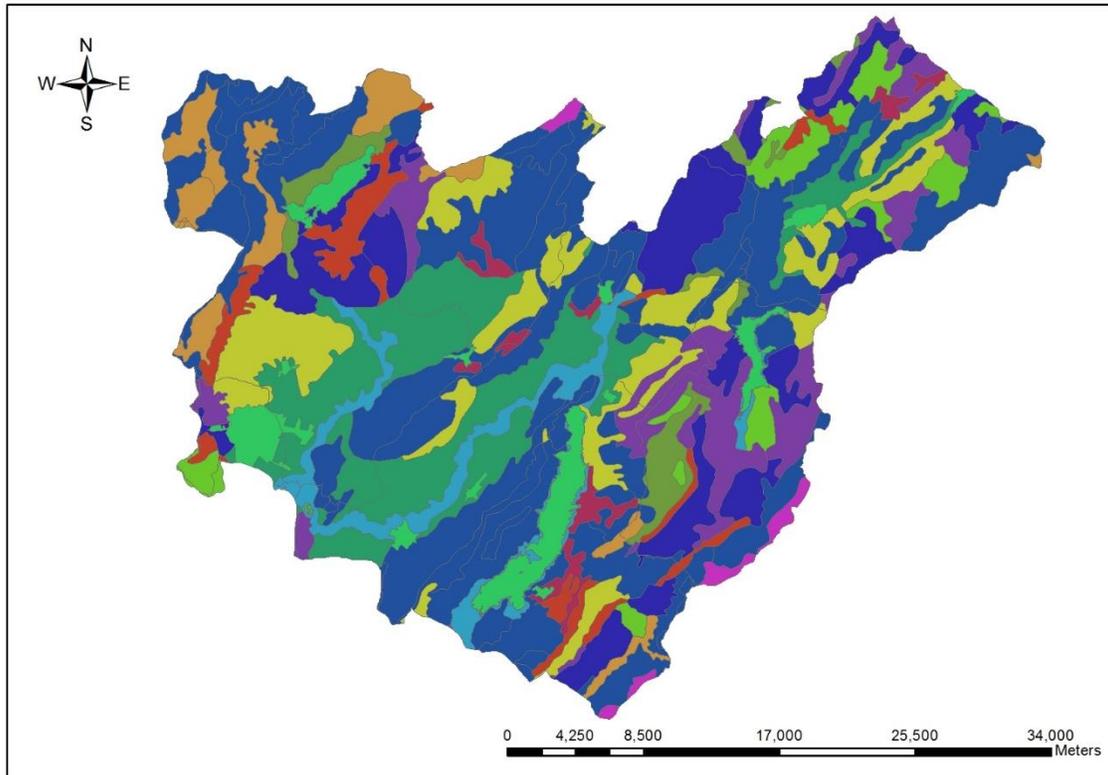
Pastos	Cebada	Maíz (Choclo)
Hortalizas	Legumbres	Durazno

Fuente: *Autor*

4.5 Tipo de Cobertura y Usos de Suelo de la Zona de Estudio

La información del uso de suelo fue adquirida a través de la corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR. Existen zonas de conservación y protección ambiental. Esta información será necesaria para hacer la clasificación de los usos de suelo y posteriormente para determinar el número de curva (NC II).

Ilustración 20. Usos de Suelo de la Cuenca Alta del río Bogotá



Fuente: CAR - Autor

Convenciones Uso de Suelos

- Agricultura de subsistencia y ganadería semiintensiva y extensiva para doble propósito
- Agricultura de subsistencia y la ganadería extensiva para doble propósito
- Agricultura de subsistencia y semicomercial y la ganadería extensiva y en sectores semiintensiva para doble propósito
- Agricultura intensiva con fines comerciales y ganadería semiintensiva con utilización de pastos mejorados
- Agricultura semiintensiva con fines comerciales y de subsistencia y ganadería semiintensiva con utilización de pastos mejorados
- Agricultura semiintensiva con fines comerciales y de sustento y ganadería semiintensiva para doble propósito
- Conservación y protección de los suelos y los recursos asociados (fauna y flora)
- Conservación y protección de los suelos y los recursos asociados (fauna y flora). Turismo ecológico guiado
- Reforestación y regeneración espontánea de la vegetación
- Reforestación y regeneración espontánea de la vegetación natural y a usos forestales con labores de entresaca controladas. Las á
- Reforestación y regeneración espontánea de la vegetación natural.
- Reforestación y regeneración espontánea de la vegetación natural. Forestería de protección y protección y producción.

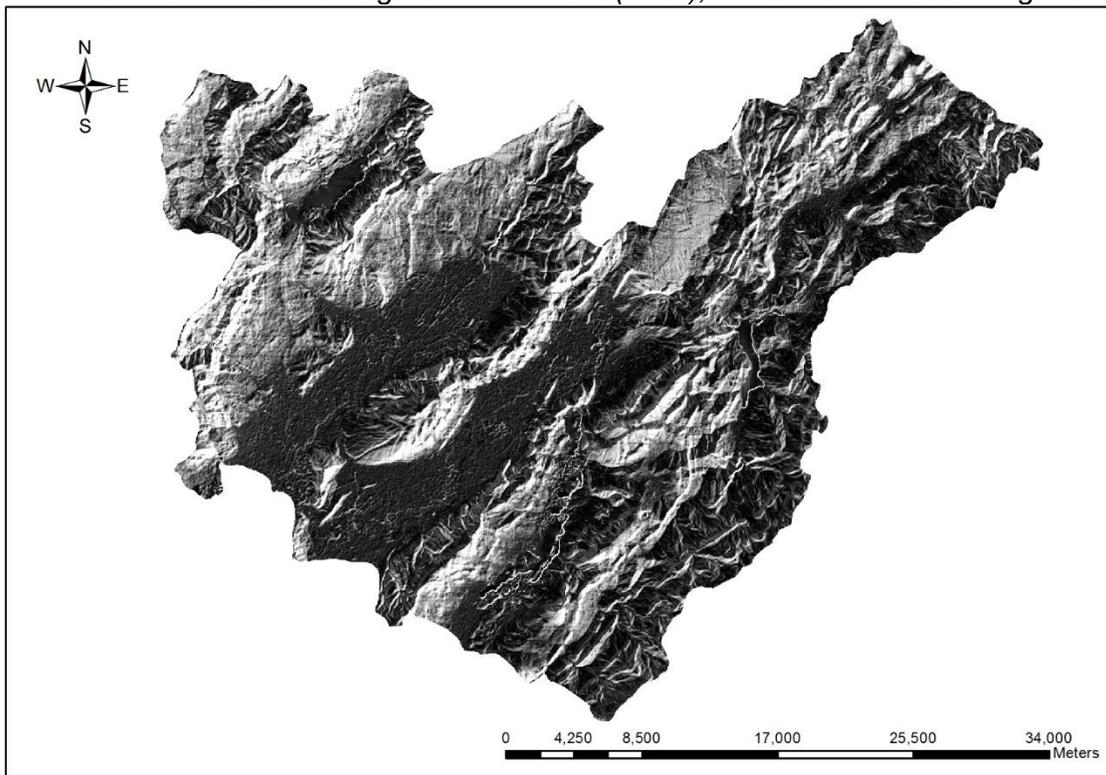
4.6 Modelo Digital de Elevación de la cuenca Alta del río Bogotá

Un modelo digital de elevación es una representación visual y matemática de los valores de altura con respecto al nivel medio del mar, que permite caracterizar las formas del relieve y los elementos u objetos presentes en el mismo⁷.

Estos valores están contenidos en un archivo de tipo raster con estructura regular, el cual se genera utilizando equipo de cómputo y software especializados como el ArcGIS.

En los modelos digitales de elevación existen dos cualidades esenciales que son la exactitud y la resolución horizontal o grado de detalle digital de representación en formato digital, las cuales varían dependiendo del método que se emplea para generarlos y para el caso de los que son generados con tecnología LIDAR se obtienen modelos de alta resolución y gran exactitud (valores submétricos). El modelo digital de la cuenca alta del río Bogotá se puede observar en la **Ilustración 21**.

Ilustración 21. Modelo Digital de Elevación (DEM), Cuenca Alta del Río Bogotá.



Fuente: CAR - Autor

⁷ (30 de julio de 2016). INEG. Obtenido de <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/queesmde.aspx>

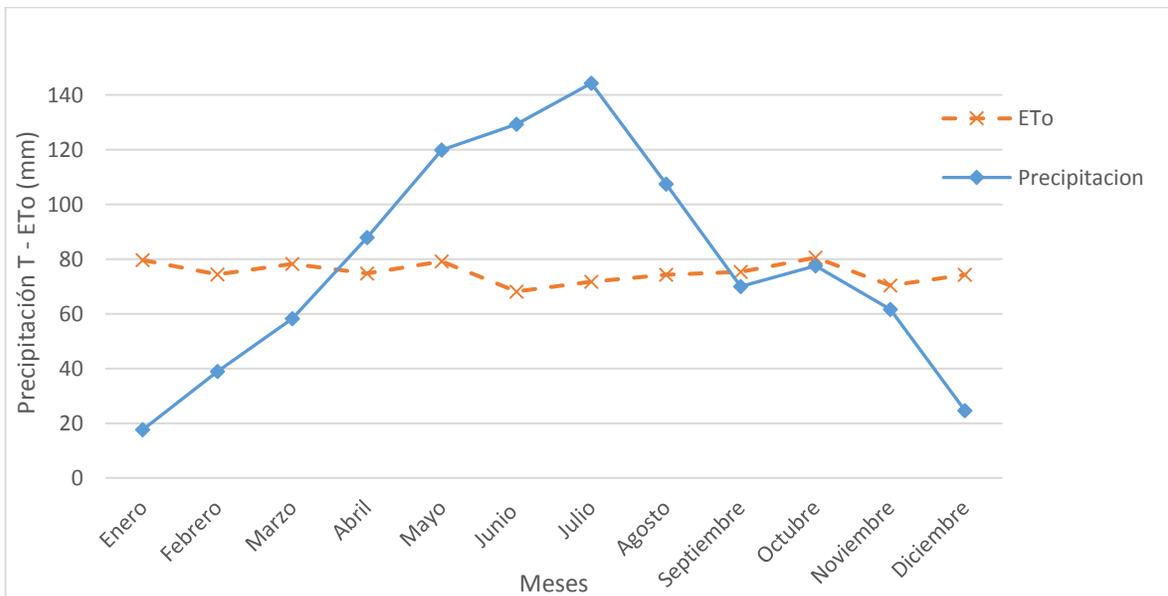
4.7 Resultados de la Evapotranspiración Potencial ETo – Método Penman-Monteith

Habiendo organizado toda la información climática, se procedió a calcular la Evapotranspiración Potencial – ETo, utilizando la metodología propuesta por la FAO, y explicada en el capítulo 3.1 del presente documento. Esto se realizó para cada una de las seis (6) cuencas objeto de estudio en el presente trabajo y que conforman la cuenca alta del río Bogotá.

4.7.1 ETo – Cuenca de Tercer Orden Alta Río Bogotá

Se realizó el balance hídrico para esta cuenca, elaborado a partir de la ETo mensual, la precipitación media mensual y la capacidad de almacenamiento de agua del suelo. Se puede definir que la cuenca de tercer orden Alto Río Bogotá presenta un régimen hídrico unimodal. Como se puede observar en la **Gráfica 1**.

Gráfica 1. Evapotranspiración Potencial – ETo vs Precipitación Total (P), para la cuenca de tercer orden Alto Río Bogotá



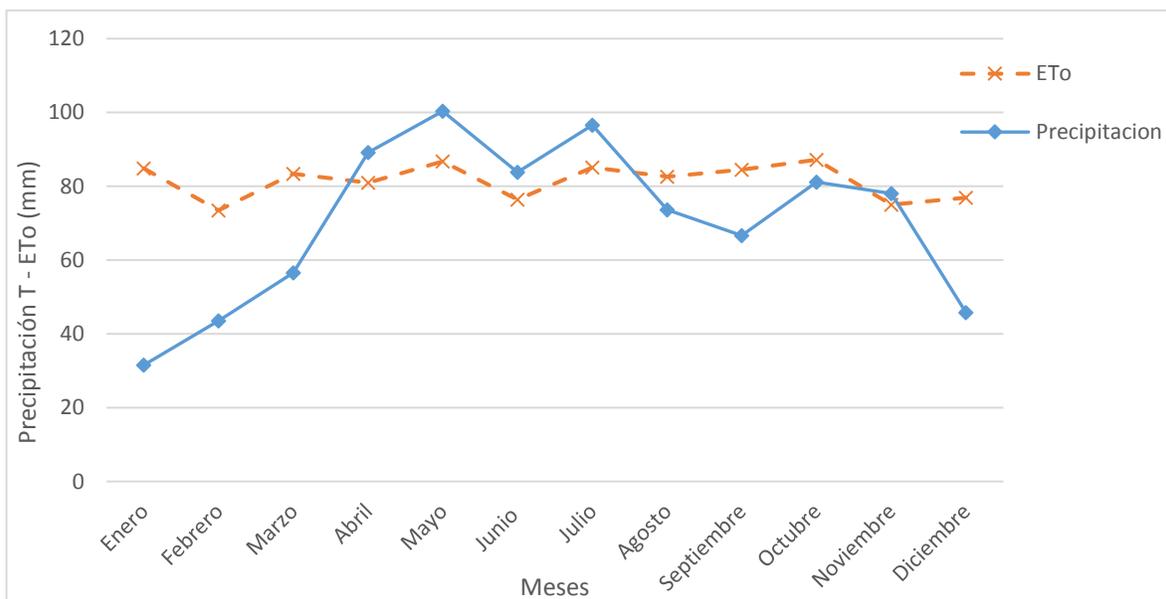
Fuente: Autor

El balance demuestra déficit de humedad durante los tres primeros meses del año (enero, febrero y marzo), y en los últimos tres del año (octubre, noviembre y diciembre). Esta circunstancia afecta particularmente a las especies con desarrollo radicular somero como la mayor parte de los cultivos semestrales y algunos pastos de la zona que presentan marchitamiento temporal especialmente durante estos meses de menor pluviosidad, mayor brillo solar o mayores vientos (Jaramillo Jaramillo, 2002).

4.7.2 ETo – Cuenca de Tercer Orden Sector Sisga - Tibitoc

En la **Gráfica 2** se presenta el balance hídrico para esta cuenca, elaborado a partir de la precipitación media mensual, evaporación potencial - ETo y capacidad de almacenamiento de agua del suelo. Los meses entre diciembre y marzo son los que se presenta el mayor déficit hídrico.

Gráfica 2. Evapotranspiración Potencial – ETo vs Precipitación Total (P), para la cuenca de tercer orden Sector Sisga - Tibitoc

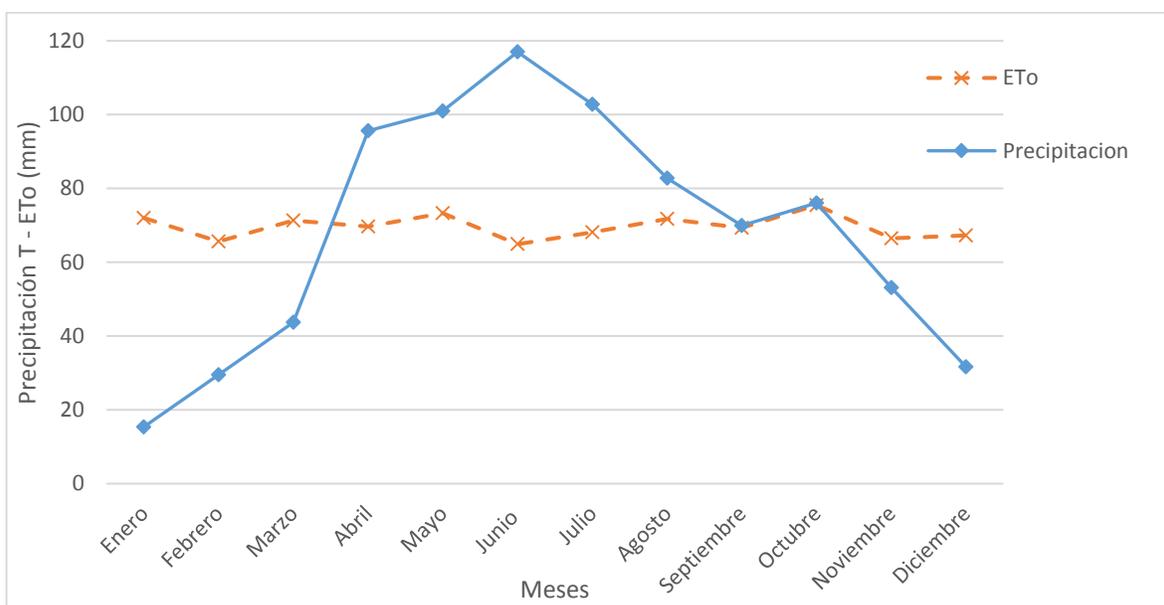


Fuente: Autor

4.7.3 ETo – Cuenca de Tercer Orden Embalse del Sisga

Se realizó el balance hídrico para esta cuenca, elaborado a partir de la ETo mensual, la precipitación media mensual y la capacidad de almacenamiento de agua del suelo. Se puede definir que la cuenca de tercer orden Embalse del Siga presenta un régimen hídrico unimodal. Como se puede observar en la **Gráfica 3**.

Gráfica 3. Evapotranspiración Potencial – ETo vs Precipitación Total (P), para la cuenca de tercer orden Embalse del Sisga

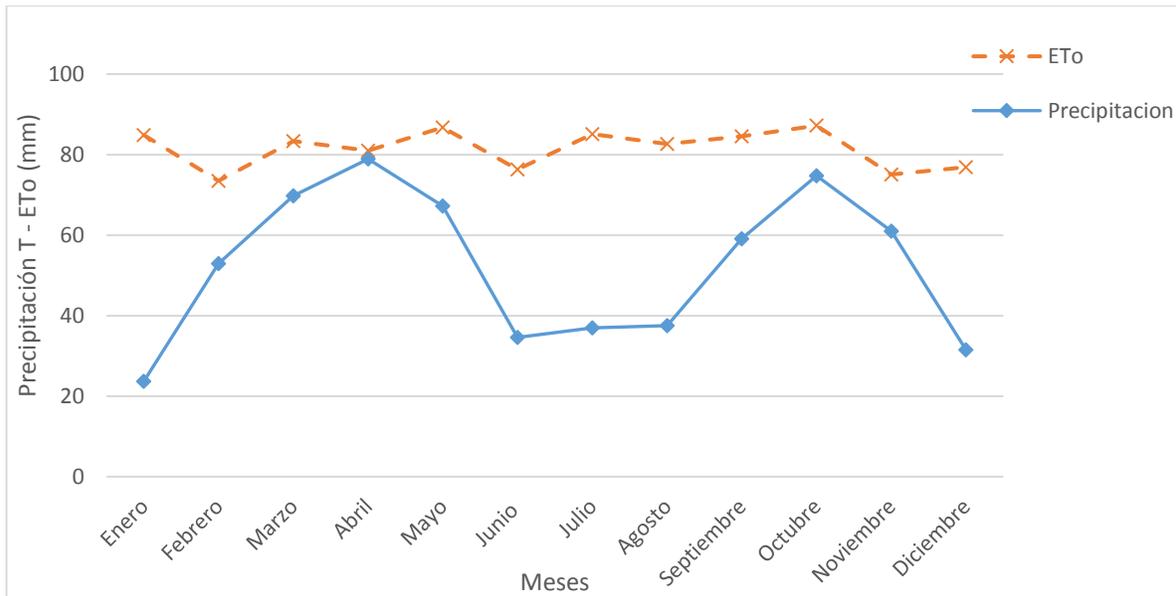


Fuente: Autor

4.7.4 ETo – Cuenca de Tercer Orden Embalse de Tominé

Estimando la ETo y Graficando la Precipitación Total (P), se puede definir que la cuenca de tercer orden Embalse de Tominé, presenta un régimen hídrico bimodal. Como se puede observar en la **Gráfica 4**.

Gráfica 4. Evapotranspiración Potencial – ETo vs Precipitación Total (P), para la cuenca de tercer orden Embalse de Tominé



Fuente: Autor

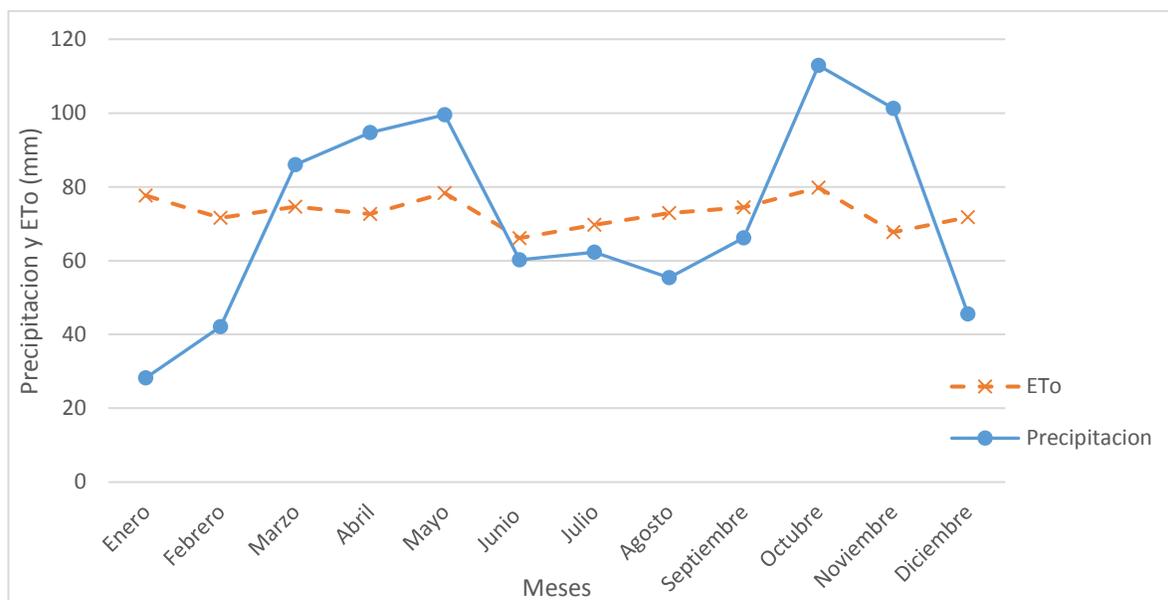
El balance demuestra déficit de humedad durante todo el año. Este resultado confirma que la mayor parte de la cuenca pertenece a la zona de vida bosque seco montano bajo (CAR, 2010)

Esta circunstancia afecta particularmente a las especies con desarrollo radicular somero como la mayor parte de los cultivos semestrales y algunos pastos de la zona que presentan marchitamiento temporal especialmente durante estos meses de menor pluviosidad, mayor brillo solar o mayores vientos (Jaramillo Jaramillo, 2002). Sin embargo, la mayor parte de las especies vegetales sobreviven pues el ascenso capilar de humedad freática alcanza hasta la parte inferior.

4.7.5 ETo – Cuenca de Tercer Orden Río Neusa

Estimando la ETo y Graficando la Precipitación Total (P), se puede definir que la cuenca de tercer orden Río Neusa, presenta un régimen hídrico bimodal. Como se puede observar en la **Gráfica 5**.

Gráfica 5. Evapotranspiración Potencial – ETo vs Precipitación Total (P), para la cuenca de tercer orden Río Neusa

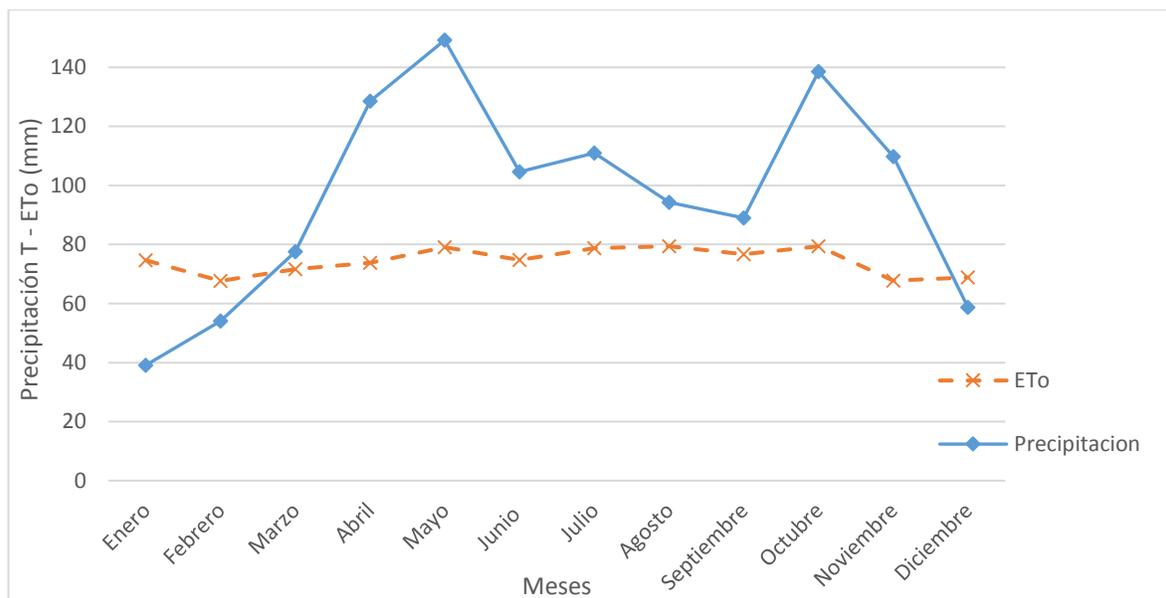


Fuente: Autor

4.7.6 ETo – Cuenca de Tercer Orden Río Negro

Estimando la ETo y Graficando la Precipitación Total (P), se puede definir que la cuenca de tercer orden Río Neusa, presenta un régimen hídrico bimodal, como se puede observar en la **Gráfica 6**.

Gráfica 6. Evapotranspiración Potencial – ETo vs Precipitación Total (P), para la cuenca de tercer orden Río Negro



Fuente: Autor

El balance demuestra déficit de humedad en diciembre y el primer trimestre del año, el balance fue elaborado a partir de la precipitación media mensual, evapotranspiración potencial mensual y capacidad del almacenamiento de agua del suelo.

4.8 Estimación Precipitación Efectiva (Pe) – Método USDA S.C.

Esta precipitación fue determinada por el método USDA S.C. el cual fue explicado en el capítulo 3.2 del presente trabajo. Se tuvo en cuenta el uso y tipo de suelo para las diferentes cuencas de tercer orden, según la información suministrada en el estudio de suelos realizado por la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR. Para todos los suelos se tuvieron en cuenta características tales como la textura, profundidad efectiva, profundidad radical y la lámina neta de riego equivalente a un 70% de la humedad disponible total, como se muestra en la **Tabla 15**.

Tabla 15. Características del Suelo para la Estimación de la Precipitación Efectiva – Pe

Cuenca 3°	Textura	Profundidad Efectiva		Lamina Neta de Riego (mm)	Infiltración Básica (mm/h)
		cm	Humedad Disponible Total		
Alto Río Bogotá	Franco Arcilloso (F-Ar)	75	150	56	7
Sector Sisga – Tibitoc	Franco Arcilloso (F-Ar)	65	123	53	8
Embalse del Sisga	Franco Arcilloso (F-Ar)	100	188	53	8
Embalse de Tominé	Franco Arenoso (F-A)	100	120	35	8
Río Neusa	Arcilloso (Ar)	65	146	63	2.5
Río Negro	Arcilloso (Ar)	85	191	6.3	2.5

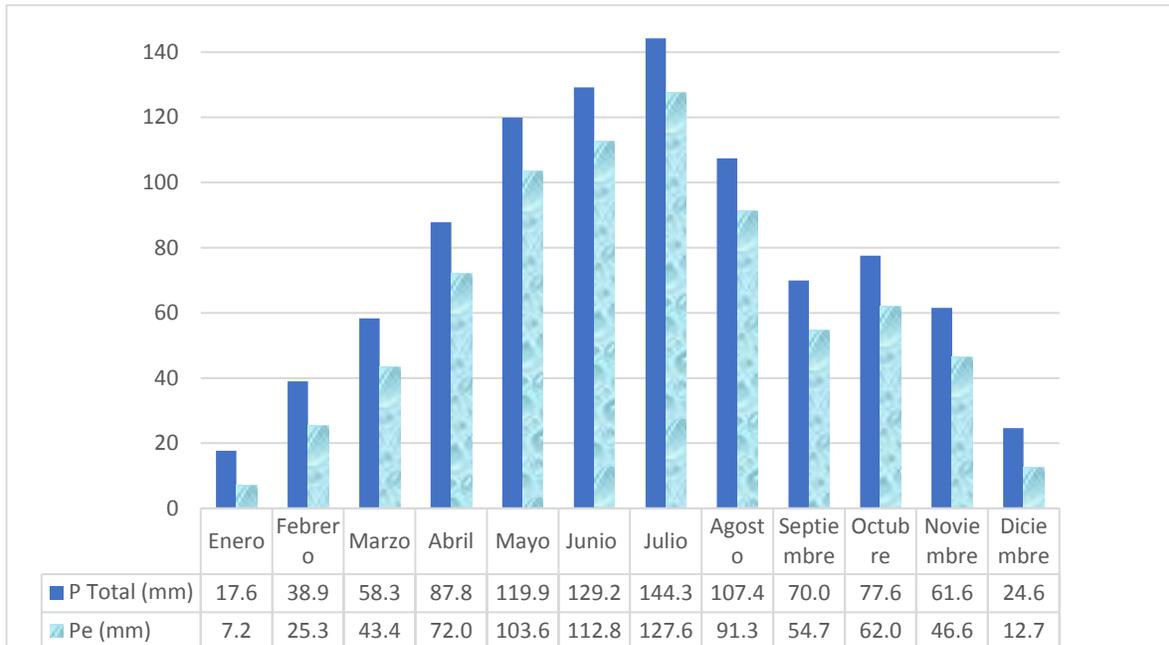
Fuente: *Estudios de Suelos – CAR, 1993*

Por lo anterior se utilizó la fórmula para determinar el CN III, la cual fue definida para suelos en buena condición de humedad y se muestra a continuación:

$$CN III = \frac{23 CN II}{10 + 0.13 CN II}$$

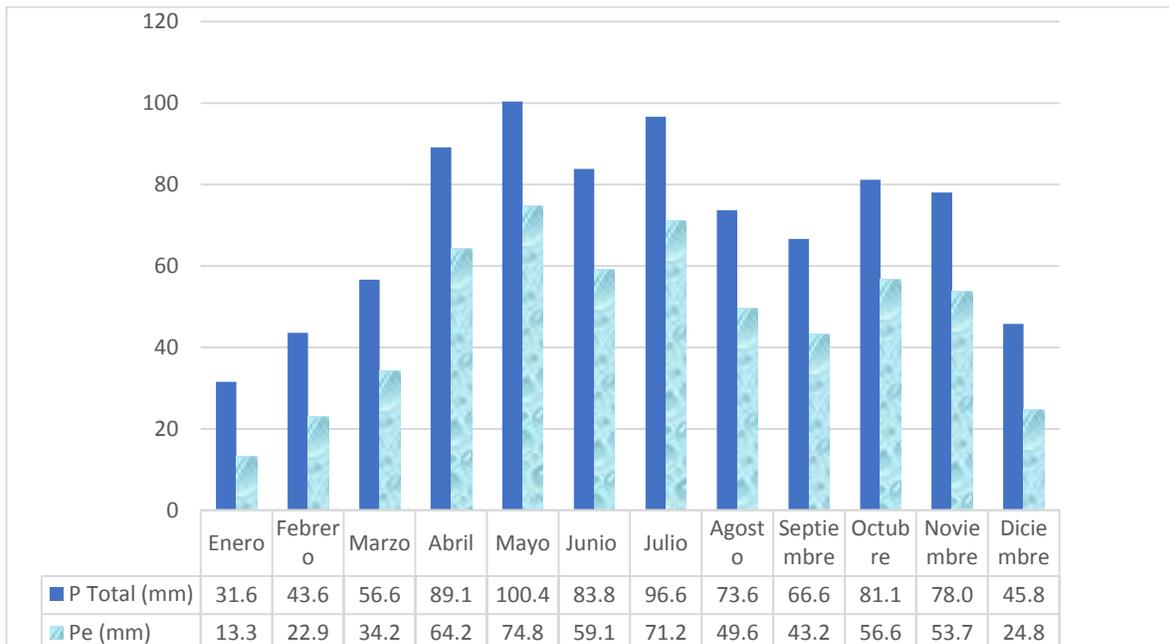
Los valores de CN II se determinaron según método del Soil Conservation Service, donde define cuatro grupos hidrológicos (A, B, C y D), y con base a la **Ilustración 16**. CN de escorrentía para usos selectos de tierra agrícola, sub urbana y urbana en condiciones normales (CN II), propuesta por (Chow, 1994). A continuación, se muestran las gráficas con el cálculo de la Pe, para las seis cuencas objeto de estudio.

Gráfica 7. Precipitación Efectiva (Pe), para la cuenca de tercer orden Alto Río Bogotá



Fuente: Autor

Gráfica 8. Precipitación Efectiva (Pe), para la cuenca de tercer orden Sector Sisga – Tibitoc



Fuente: Autor

Gráfica 9. Precipitación Efectiva (Pe), para la cuenca de tercer orden Embalse del Sisga



Fuente: Autor

Gráfica 10. Precipitación Efectiva (Pe), para la cuenca de tercer orden Embalse de Tominé



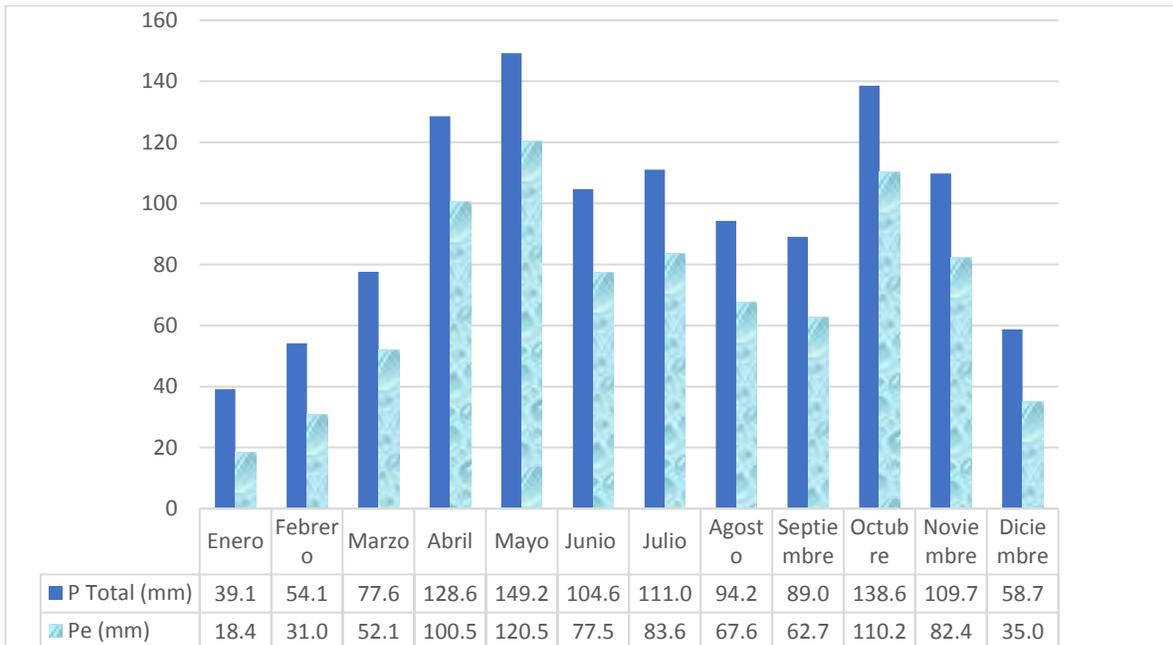
Fuente: Autor

Gráfica 11. Precipitación Efectiva (Pe), para la cuenca de tercer orden Río Neusa



Fuente: Autor

Gráfica 12. Precipitación Efectiva (Pe), para la cuenca de tercer orden Río Negro



Fuente: Autor

4.9 Necesidades de Riego y Módulos de Consumo por Cultivo

Los cultivos consumen agua de acuerdo con el clima, la especie y su estado de desarrollo. Tan solo una mínima parte del agua obtenida del suelo se usa para la formación de la biomasa; casi toda se transfiere a la atmósfera a través de la evaporación y la transpiración.

En condiciones naturales el agua disponible para la evapotranspiración o uso consuntivo, está limitada a la precipitación efectiva. Es decir, aquella fracción de la lluvia que queda almacenada en el suelo para uso posterior por la vegetación.

El agua del suelo o humedad edáfica pasa al sistema vascular osmóticamente a través de las raíces; se usa en la fotosíntesis y es transpirada a la atmósfera por las estomas del follaje (Jaramillo, 2012).

A medida que la humedad edáfica disminuye, su tensión aumenta y cada vez su extracción exige mayor esfuerzo fisiológico para atender el uso consuntivo. Si la humedad del suelo no es reemplazada oportunamente la vegetación se marchita y muere.

La irrigación es una aerotecnia para mantener los niveles de humedad en el suelo dentro del rango óptimo para producción vegetal (capacidad de campo). Por lo tanto será necesario aplicar el riego cuando la P_e es menor que el uso consuntivo, o sea, cuando la humedad disponible no es suficiente para satisfacer la demanda de agua de los cultivos (Jaramillo, 2012).

Uso Consuntivo (UC): Se ha estimado a partir de la E_{To} afectada por los coeficientes K_c asignados por la FAO en la Guía para la Determinación de Requerimiento de Agua para los Cultivos, este coeficiente es asignado a cada cultivo según su fase de desarrollo o ciclo vegetativo (ver **Tabla 16**). El uso consuntivo para cada cultivo es expresado como lámina de agua (mm), y se calculó para cada mes del periodo de siembra.

Tabla 16. Valores del coeficiente único (promedio temporal) del cultivo, Kc y alturas medidas máximas de las plantas para cultivos no estresados y bien manejados en climas sub-húmedos para usa en la fórmula de la FAO Penman-Monteith ETo.

Cultivo	Kc – Inicial	Kc – Medio	Kc – Final	Altura Máxima del Cultivo (h) (m)
Cebolla	0.7	1.05	0.75	0.4
Maíz (Choclo)	0.5	1.15	1.05	1.5
Fresas	0.40	0.85	0.75	0.2
Arveja	0.5	1.15	1.10	0.5
Cebada	0.3	1.15	0.25	1
Pastos	1.0	1.0	1.0	0.25
Tomate	0.6	1.15	0.9	0.6
Frijol	0.5	1.05	0.9	0.4
Berenjena	0.5	1.05	0.9	0.8
Zanahoria	0.7	1.05	0.95	0.3
Pimentón Dulce	0.5	1.05	0.9	0.7
Trigo	0.3	1.15	0.25	1
Hortalizas (Solanáceas)	0.6	1.15	0.8	0.8
Papa	0.5	1.15	0.75	0.6
Legumbres	0.4	1.15	0.55	0.4
Durazno	0.5	1.15	0.9	3
Soya	0.4	1.15	0.5	0.5-0.1
Moras (Arbusto)	0.3	1.05	0.5	1.5
Cítricos	0.8	0.8	0.8	3

Fuente: Evapotranspiración del Cultivo Guías para la determinación de Requerimientos de Agua de Los Cultivos. *Organización De Las Naciones Unidas Para La Agricultura (FAO)*- (Allen, Luis S. Pereira, Dirk Raes, & Martin Smith, Roma 2006)

Necesidad de Riego (NR): Las necesidades netas de riego, es decir, sin tener en cuenta las pérdidas de operación de los sistemas de irrigación. Se refiere por lo tanto este requerimiento a la lámina de agua que se debe incorporar al suelo, mediante irrigación, para suplir el déficit entre el UC y la PE.

No Obstante, cabe resaltar que en estos estimativos de necesidades de riego no se ha tenido en cuenta la humedad antecedente; entendida esta como el agua que queda almacenada en los suelos cuando la Pe del mes anterior es mayor que el UC.

Duración de las Etapas de Crecimiento: La publicación de la serie de Riego y Drenaje de la FAO No. 24 incluye duraciones generales para las cuatro etapas de crecimiento de distintos cultivos, así como la duración total de la temporada de crecimiento de cada cultivo, para distintos tipos de clima y diferentes localidades. Esta información ha sido extraída para los cultivos priorizados en el presente trabajo y se sintetiza en la **Tabla 17**.

En algunos casos, el momento de aparición de la vegetación, así como el momento de la cobertura completa pueden ser estimados usando regresiones basadas en la acumulación de grados de temperatura o a través de modelos más sofisticados de crecimiento vegetal. Estos modelos deberán ser verificados y validados para cada área o para la variedad específica del cultivo, usando observaciones locales (Allen, Luis S. Pereira, Dirk Raes, & Martin Smith, Roma 2006).

Tabla 17. Duración de las etapas de crecimiento del cultivo para distintos períodos de siembra.

Cultivo	Inic. (días)	Des. (días)	Med. (días)	Final (días)	Total días	Fecha de Siembra
Cebolla	25	30	10	5	70	Abril
Maíz (Choclo)	20	25	25	10	80	Marzo
Fresas	10	11	14	10	45	Mayo
Arveja	20	30	35	15	100	Mayo
Cebada	15	30	65	40	150	Julio
Pastos	10	20	--	--	--	--
Tomate	30	40	40	25	135	Enero
Frijol	20	30	30	10	90	Marzo
Berenjena	30	45	40	25	130	Junio
Zanahoria	30	40	60	20	150	Marzo
Pimentón Dulce	25	35	40	20	125	Abril
Trigo	15	30	65	40	150	Julio
Hortalizas (Solanáceas)	30	40	40	25	135	Enero
Papa	25	30	45	30	130	Marzo
Legumbres	20	30	35	15	100	Mayo
Durazno	20	70	90	30	210	Marzo
Soya	15	15	75	30	150	Diciembre
Moras (Arbusto)	30	60	40	80	210	Abril
Cítricos	60	90	120	95	365	Enero

Fuente: Evapotranspiración del Cultivo Guías para la determinación de Requerimientos de Agua de Los Cultivos. *Organización De Las Naciones Unidas Para La Agricultura (FAO)*- (Allen, Luis S. Pereira, Dirk Raes, & Martin Smith, Roma 2006)

4.9.1 Resultados N.R y Módulos de Consumos para los Cultivos Cuenca Alta Río Bogotá

Tabla 18. N.R Cultivo de Pasto Cuenca Alta Río Bogotá

MES	P (mm/mes)	ETo (mm/mes)	Pe (mm)	Coefficiente Kc	Uso Consuntivo	N R (mm)	Necesidad Neta de Riego (m3/ha)	Módulo de Consumo (l/s/ha)
Enero	18	80	7.2	1	72	64	645	0.24
Febrero	39	74	25.3	1	71	45	453	0.18
Marzo	58	78	43.4	1	74	31	309	0.12
Abril	88	75	72	1	67	-5	-47	-0.02
Mayo	120	79	103.6	1	75	-28	-283	-0.11
Junio	129	68	112.8	1	65	-48	-480	-0.19
Julio	144	72	127.6	1	65	-63	-631	-0.24
Agosto	107	74	91.3	1	71	-21	-207	-0.08
Septiembre	70	75	54.7	1	71	17	168	0.06
Octubre	78	81	62	1	72	10	104	0.04
Noviembre	62	70	46.6	1	67	20	202	0.08
Diciembre	25	74	12.7	1	71	58	578	0.22
Valor del Módulo (l/s/ha)								0.13

Fuente: Autor

Tabla 19. N.R Cultivo de Papa Cuenca Alta Río Bogotá

MES	P (mm/mes)	ETo (mm/mes)	Pe (mm)	Coefficiente Kc	Uso Consuntivo	N R (mm)	Necesidad Neta de Riego (m3/ha)	Módulo de Consumo (l/s/ha)
Enero	18	80	7.2	0.8	60	53	525	0.2
Febrero	39	74	25.3	0	0	-25	-253	-0.1
Marzo	58	78	43.4	0.5	39	-4	-43	-0.02
Abril	88	75	72	0.5	37	-35	-346	-0.13
Mayo	120	79	103.6	1.2	91	-12	-125	-0.05
Junio	129	68	112.8	1.2	78	-34	-344	-0.13
Julio	144	72	127.6	0.8	54	-74	-738	-0.28
Agosto	107	74	91.3	0	0	-91	-913	-0.34
Septiembre	70	75	54.7	0.5	38	-17	-170	-0.07
Octubre	78	81	62	0.5	40	-22	-218	-0.08
Noviembre	62	70	46.6	1.2	81	34	342	0.13
Diciembre	25	74	12.7	1.2	85	73	727	0.27
Valor del Módulo (l/s/ha)								0.20

Fuente: Autor

Tabla 20. N.R Cultivo de Maíz (choclo) Cuenca Alta Río Bogotá

MES	P (mm/mes)	ETo (mm/mes)	Pe (mm)	Coefficiente Kc	Uso Consumtivo	N R (mm)	Necesidad Neta de Riego (m3/ha)	Módulo de Consumo (l/s/ha)
Enero	18	80	7.2	0.6	48	41	406	0.15
Febrero	39	74	25.3	0	0	-25	-253	-0.1
Marzo	58	78	43.4	0.3	23	-20	-200	-0.07
Abril	88	75	72	0.7	52	-20	-197	-0.08
Mayo	120	79	103.6	1.2	91	-12	-125	-0.05
Junio	129	68	112.8	1.2	78	-34	-344	-0.13
Julio	144	72	127.6	0.6	43	-85	-846	-0.32
Agosto	107	74	91.3	0	0	-91	-913	-0.34
Septiembre	70	75	54.7	0.3	23	-32	-321	-0.12
Octubre	78	81	62	0.7	56	-6	-57	-0.02
Noviembre	62	70	46.6	1.2	81	34	342	0.13
Diciembre	25	74	12.7	1.2	85	73	727	0.27
Valor del Módulo (l/s/ha)								0.18

Fuente: Autor

Tabla 21. N.R Cultivo de Cebada y Trigo Cuenca Alta Río Bogotá

MES	P (mm/mes)	ETo (mm/mes)	Pe (mm)	Coefficiente Kc	Uso Consumtivo	N R (mm)	Necesidad Neta de Riego (m3/ha)	Módulo de Consumo (l/s/ha)
Enero	18	80	7.2	0.3	20	13	127	0.05
Febrero	39	74	25.3	0	0	-25	-253	-0.1
Marzo	58	78	43.4	0.3	23	-20	-200	-0.07
Abril	88	75	72	0.4	30	-42	-421	-0.16
Mayo	120	79	103.6	1.2	91	-12	-125	-0.05
Junio	129	68	112.8	1.2	78	-34	-344	-0.13
Julio	144	72	127.6	0.3	18	-110	-1097	-0.41
Agosto	107	74	91.3	0	0	-91	-913	-0.34
Septiembre	70	75	54.7	0.3	23	-32	-321	-0.12
Octubre	78	81	62	0.4	32	-30	-298	-0.11
Noviembre	62	70	46.6	1.2	81	34	342	0.13
Diciembre	25	74	12.7	1.2	85	73	727	0.27
Valor del Módulo (l/s/ha)								0.15

Fuente: Autor

Tabla 22. N.R Cultivo de Hortalizas Cuenca Alta Río Bogotá

MES	P (mm/mes)	ETo (mm/mes)	Pe (mm)	Coefficiente Kc	Uso Consuntivo	N R (mm)	Necesidad Neta de Riego (m3/ha)	Módulo de Consumo (l/s/ha)
Enero	18	80	7.2	0.6	48	41	406	0.15
Febrero	39	74	25.3	0.6	45	19	193	0.08
Marzo	58	78	43.4	1.1	82	39	387	0.14
Abril	88	75	72	1	71	-1	-10	0
Mayo	120	79	103.6	0.6	48	-56	-560	-0.21
Junio	129	68	112.8	0.6	41	-72	-719	-0.28
Julio	144	72	127.6	1.1	75	-52	-523	-0.2
Agosto	107	74	91.3	1	71	-21	-207	-0.08
Septiembre	70	75	54.7	0.6	45	-9	-95	-0.04
Octubre	78	81	62	0.6	48	-14	-137	-0.05
Noviembre	62	70	46.6	1.1	74	27	272	0.11
Diciembre	25	74	12.7	1	71	58	578	0.22
Valor del Módulo (l/s/ha)								0.09

Fuente: Autor

Tabla 23. N.R Cultivo de Flores (invernadero) Cuenca Alta Río Bogotá

MES	P (mm/mes)	ETo (mm/mes)	Pe (mm)	Coefficiente Kc	Uso Consuntivo	N R (mm)	Necesidad Neta de Riego (m3/ha)	Módulo de Consumo (l/s/ha)
Enero	18	80	7.2	1	80	80	796	0.3
Febrero	39	74	25.3	1	74	74	744	0.3
Marzo	58	78	43.4	0.9	70	70	704	0.26
Abril	88	75	72	1	75	75	748	0.29
Mayo	120	79	103.6	1	79	79	792	0.3
Junio	129	68	112.8	0.9	61	61	613	0.24
Julio	144	72	127.6	0.8	57	57	574	0.21
Agosto	107	74	91.3	1	74	74	742	0.28
Septiembre	70	75	54.7	1	75	75	753	0.29
Octubre	78	81	62	0.9	72	72	725	0.27
Noviembre	62	70	46.6	0.8	56	56	562	0.22
Diciembre	25	74	12.7	0.8	59	59	594	0.22
Valor del Módulo (l/s/ha)								0.26

Fuente: Autor

Tabla 24. N.R Cultivo Legumbres Cuenca Alta Río Bogotá

MES	P (mm/mes)	ETo (mm/mes)	Pe (mm)	Coefficiente Kc	Uso Consuntivo	N R (mm)	Necesidad Neta de Riego (m3/ha)	Módulo de Consumo (l/s/ha)
Enero	18	80	7.2	1	80	72	724	0.27
Febrero	39	74	25.3	0.6	45	19	193	0.08
Marzo	58	78	43.4	0.6	47	4	35	0.01
Abril	88	75	72	1	75	3	27	0.01
Mayo	120	79	103.6	0.6	48	-56	-560	-0.21
Junio	129	68	112.8	0.6	41	-72	-719	-0.28
Julio	144	72	127.6	1	72	-56	-559	-0.21
Agosto	107	74	91.3	0.6	45	-47	-467	-0.17
Septiembre	70	75	54.7	0.6	45	-9	-95	-0.04
Octubre	78	81	62	1	81	18	185	0.07
Noviembre	62	70	46.6	0.6	42	-4	-44	-0.02
Diciembre	25	74	12.7	0.6	45	32	318	0.12
Valor del Módulo (l/s/ha)								0.09

Fuente: Autor

Tabla 25. N.R Cultivo de Fresas Cuenca Alta Río Bogotá

MES	P (mm/mes)	ETo (mm/mes)	Pe (mm)	Coefficiente Kc	Uso Consuntivo	N R (mm)	Necesidad Neta de Riego (m3/ha)	Módulo de Consumo (l/s/ha)
Enero	18	80	7.2	0.8	60	53	525	0.2
Febrero	39	74	25.3	0.4	30	4	44	0.02
Marzo	58	78	43.4	0.9	66	23	231	0.09
Abril	88	75	72	0.8	56	-16	-159	-0.06
Mayo	120	79	103.6	0.4	32	-72	-719	-0.27
Junio	129	68	112.8	0.9	58	-55	-548	-0.21
Julio	144	72	127.6	0.8	54	-74	-738	-0.28
Agosto	107	74	91.3	0.4	30	-62	-616	-0.23
Septiembre	70	75	54.7	0.9	64	9	93	0.04
Octubre	78	81	62	0.8	60	-2	-16	-0.01
Noviembre	62	70	46.6	0.4	28	-18	-185	-0.07
Diciembre	25	74	12.7	0.9	63	50	504	0.19
Valor del Módulo (l/s/ha)								0.10

Fuente: Autor

4.9.2 Resultados N.R y Módulos de Consumos para los Cultivos Cuenca Sector Sisga – Tibitoc

Tabla 26. N.R Cultivo de Pasto Cuenca Sector Sisga - Tibitoc

MES	P (mm/mes)	ETo (mm/mes)	Pe (mm)	Coficiente Kc	Uso Consumtivo	N R (mm)	Necesidad Neta de Riego (m3/ha)	Módulo de Consumo (l/s/ha)
Enero	32	85	13.3	1	76	63	631	0.24
Febrero	44	73	22.9	1	70	47	469	0.19
Marzo	57	83	34.2	1	79	45	450	0.17
Abril	89	81	64.2	1	73	9	87	0.03
Mayo	100	87	74.8	1	82	8	76	0.03
Junio	84	76	59.1	1	73	13	134	0.05
Julio	97	85	71.2	1	77	5	54	0.02
Agosto	74	83	49.6	1	78	29	288	0.11
Septiembre	67	85	43.2	1	80	37	371	0.14
Octubre	81	87	56.6	1	78	22	218	0.08
Noviembre	78	75	53.7	1	71	18	176	0.07
Diciembre	46	77	24.8	1	73	48	483	0.18
Valor del Módulo (l/s/ha)								0.11

Fuente: Autor

Tabla 27. N.R Cultivo de Maíz (choclo) Cuenca Sector Sisga - Tibitoc

MES	P (mm/mes)	ETo (mm/mes)	Pe (mm)	Coficiente Kc	Uso Consumtivo	N R (mm)	Necesidad Neta de Riego (m3/ha)	Módulo de Consumo (l/s/ha)
Enero	32	85	13.3	0.6	51	38	376	0.14
Febrero	44	73	22.9	0	0	-23	-229	-0.09
Marzo	57	83	34.2	0.3	25	-9	-92	-0.03
Abril	89	81	64.2	0.7	57	-7	-75	-0.03
Mayo	100	87	74.8	1.2	100	25	250	0.09
Junio	84	76	59.1	1.2	88	29	287	0.11
Julio	97	85	71.2	0.6	51	-20	-202	-0.08
Agosto	74	83	49.6	0	0	-50	-496	-0.19
Septiembre	67	85	43.2	0.3	25	-18	-179	-0.07
Octubre	81	87	56.6	0.7	61	4	44	0.02
Noviembre	78	75	53.7	1.2	86	33	326	0.13
Diciembre	46	77	24.8	1.2	88	64	637	0.24
Valor del Módulo (l/s/ha)								0.12

Fuente: Autor

Tabla 28. N.R Cultivo de Cebolla Cuenca Sector Sisga - Tibitoc

MES	P (mm/mes)	ETo (mm/mes)	Pe (mm)	Coefficiente Kc	Uso Consumtivo	N R (mm)	Necesidad Neta de Riego (m3/ha)	Módulo de Consumo (l/s/ha)
Enero	32	85	13.3	1.1	89	76	758	0.28
Febrero	44	73	22.9	0.8	55	32	322	0.13
Marzo	57	83	34.2	0	0	-34	-342	-0.13
Abril	89	81	64.2	0.7	57	-7	-75	-0.03
Mayo	100	87	74.8	1.1	91	16	163	0.06
Junio	84	76	59.1	0.8	57	-2	-19	-0.01
Julio	97	85	71.2	0	0	-71	-712	-0.27
Agosto	74	83	49.6	0.7	58	8	82	0.03
Septiembre	67	85	43.2	1.1	89	46	455	0.18
Octubre	81	87	56.6	0.8	65	9	88	0.03
Noviembre	78	75	53.7	0	0	-54	-537	-0.21
Diciembre	46	77	24.8	0.7	54	29	291	0.11
Valor del Módulo (l/s/ha)								0.12

Fuente: Autor

Tabla 29. N.R Cultivo de Cebada y Trigo Cuenca Sector Sisga - Tibitoc

MES	P (mm/mes)	ETo (mm/mes)	Pe (mm)	Coefficiente Kc	Uso Consumtivo	N R (mm)	Necesidad Neta de Riego (m3/ha)	Módulo de Consumo (l/s/ha)
Enero	32	85	13.3	0.3	21	8	79	0.03
Febrero	44	73	22.9	0	0	-23	-229	-0.09
Marzo	57	83	34.2	0.3	25	-9	-92	-0.03
Abril	89	81	64.2	0.4	32	-32	-318	-0.12
Mayo	100	87	74.8	1.2	100	25	250	0.09
Junio	84	76	59.1	1.2	88	29	287	0.11
Julio	97	85	71.2	0.3	21	-50	-499	-0.19
Agosto	74	83	49.6	0	0	-50	-496	-0.19
Septiembre	67	85	43.2	0.3	25	-18	-179	-0.07
Octubre	81	87	56.6	0.4	35	-22	-218	-0.08
Noviembre	78	75	53.7	1.2	86	33	326	0.13
Diciembre	46	77	24.8	1.2	88	64	637	0.24
Valor del Módulo (l/s/ha)								0.12

Fuente: Autor

Tabla 30. N.R Cultivo de Hortalizas Cuenca Sector Sisga - Tibitoc

MES	P (mm/mes)	ETo (mm/mes)	Pe (mm)	Coefficiente Kc	Uso Consuntivo	N R (mm)	Necesidad Neta de Riego (m3/ha)	Módulo de Consumo (l/s/ha)
Enero	32	85	13.3	0.6	51	38	376	0.14
Febrero	44	73	22.9	0.6	44	21	212	0.08
Marzo	57	83	34.2	1.1	88	53	534	0.2
Abril	89	81	64.2	1	77	13	128	0.05
Mayo	100	87	74.8	0.6	52	-23	-227	-0.08
Junio	84	76	59.1	0.6	46	-13	-133	-0.05
Julio	97	85	71.2	1.1	89	18	181	0.07
Agosto	74	83	49.6	1	78	29	288	0.11
Septiembre	67	85	43.2	0.6	51	7	75	0.03
Octubre	81	87	56.6	0.6	52	-4	-43	-0.02
Noviembre	78	75	53.7	1.1	79	25	251	0.1
Diciembre	46	77	24.8	1	73	48	483	0.18
Valor del Módulo (l/s/ha)								0.11

Fuente: Autor

Tabla 31. N.R Cultivo de Legumbres Cuenca Sector Sisga - Tibitoc

MES	P (mm/mes)	ETo (mm/mes)	Pe (mm)	Coefficiente Kc	Uso Consuntivo	N R (mm)	Necesidad Neta de Riego (m3/ha)	Módulo de Consumo (l/s/ha)
Enero	32	85	13.3	1	85	72	716	0.27
Febrero	44	73	22.9	0.6	44	21	212	0.08
Marzo	57	83	34.2	0.6	50	16	159	0.06
Abril	89	81	64.2	1	81	17	168	0.06
Mayo	100	87	74.8	0.6	52	-23	-227	-0.08
Junio	84	76	59.1	0.6	46	-13	-133	-0.05
Julio	97	85	71.2	1	85	14	139	0.05
Agosto	74	83	49.6	0.6	50	0	-1	0
Septiembre	67	85	43.2	0.6	51	7	75	0.03
Octubre	81	87	56.6	1	87	31	306	0.11
Noviembre	78	75	53.7	0.6	45	-9	-87	-0.03
Diciembre	46	77	24.8	0.6	46	21	214	0.08
Valor del Módulo (l/s/ha)								0.06

Fuente: Autor

Tabla 32. N.R Cultivo de Fresa Cuenca Sector Sisga - Tibitoc

MES	P (mm/mes)	ETo (mm/mes)	Pe (mm)	Coefficiente Kc	Uso Consuntivo	N R (mm)	Necesidad Neta de Riego (m3/ha)	Módulo de Consumo (l/s/ha)
Enero	32	85	13.3	0.8	64	50	503	0.19
Febrero	44	73	22.9	0.4	29	6	65	0.03
Marzo	57	83	34.2	0.9	71	37	367	0.14
Abril	89	81	64.2	0.8	61	-3	-34	-0.01
Mayo	100	87	74.8	0.4	35	-40	-401	-0.15
Junio	84	76	59.1	0.9	65	6	58	0.02
Julio	97	85	71.2	0.8	64	-7	-74	-0.03
Agosto	74	83	49.6	0.4	33	-17	-166	-0.06
Septiembre	67	85	43.2	0.9	72	29	286	0.11
Octubre	81	87	56.6	0.8	65	9	88	0.03
Noviembre	78	75	53.7	0.4	30	-24	-237	-0.09
Diciembre	46	77	24.8	0.9	65	41	406	0.15
Valor del Módulo (l/s/ha)								0.06

Fuente: Autor

4.9.3 Resultados N.R y Módulos de Consumos para los Cultivos Cuenca Embalse del Sisga

Tabla 33. N.R Cultivo de Pasto Cuenca Embalse del Sisga

MES	P (mm/mes)	ETo (mm/mes)	Pe (mm)	Coefficiente Kc	Uso Consumtivo	N R (mm)	Necesidad Neta de Riego (m3/ha)	Módulo de Consumo (l/s/ha)
Enero	15	72	1.9	1	65	63	630	0.24
Febrero	30	66	9.4	1	62	53	530	0.21
Marzo	44	71	19.6	1	68	48	481	0.18
Abril	96	70	64.9	1	63	-2	-22	-0.01
Mayo	101	73	70	1	70	0	-3	0
Junio	117	65	85	1	62	-23	-233	-0.09
Julio	103	68	71.6	1	61	-10	-103	-0.04
Agosto	83	72	53.2	1	68	15	150	0.06
Septiembre	70	69	41.7	1	66	24	242	0.09
Octubre	76	75	47.1	1	68	21	208	0.08
Noviembre	53	66	27.2	1	63	36	360	0.14
Diciembre	32	67	10.8	1	64	53	531	0.2
Valor del Módulo (l/s/ha)								0.15

Fuente: Autor

Tabla 34. N.R Cultivo de Papa Cuenca Embalse del Sisga

MES	P (mm/mes)	ETo (mm/mes)	Pe (mm)	Coefficiente Kc	Uso Consumtivo	N R (mm)	Necesidad Neta de Riego (m3/ha)	Módulo de Consumo (l/s/ha)
Enero	15	72	1.9	0.8	54	52	522	0.19
Febrero	30	66	9.4	0	0	-9	-94	-0.04
Marzo	44	71	19.6	0.5	36	16	160	0.06
Abril	96	70	64.9	0.5	35	-30	-301	-0.12
Mayo	101	73	70	1.2	84	14	143	0.05
Junio	117	65	85	1.2	75	-10	-104	-0.04
Julio	103	68	71.6	0.8	51	-21	-205	-0.08
Agosto	83	72	53.2	0	0	-53	-532	-0.2
Septiembre	70	69	41.7	0.5	35	-7	-70	-0.03
Octubre	76	75	47.1	0.5	38	-9	-93	-0.03
Noviembre	53	66	27.2	1.2	76	49	493	0.19
Diciembre	32	67	10.8	1.2	77	67	665	0.25
Valor del Módulo (l/s/ha)								0.15

Fuente: Autor

Tabla 35. N.R Cultivo de Maíz (choclo) Cuenca Embalse del Sisga

MES	P (mm/mes)	ETo (mm/mes)	Pe (mm)	Coefficiente Kc	Uso Consumtivo	N R (mm)	Necesidad Neta de Riego (m3/ha)	Módulo de Consumo (l/s/ha)
Enero	15	72	1.9	0.6	43	41	414	0.15
Febrero	30	66	9.4	0	0	-9	-94	-0.04
Marzo	44	71	19.6	0.3	21	2	18	0.01
Abril	96	70	64.9	0.7	49	-16	-161	-0.06
Mayo	101	73	70	1.2	84	14	143	0.05
Junio	117	65	85	1.2	75	-10	-104	-0.04
Julio	103	68	71.6	0.6	41	-31	-307	-0.11
Agosto	83	72	53.2	0	0	-53	-532	-0.2
Septiembre	70	69	41.7	0.3	21	-21	-209	-0.08
Octubre	76	75	47.1	0.7	53	6	58	0.02
Noviembre	53	66	27.2	1.2	76	49	493	0.19
Diciembre	32	67	10.8	1.2	77	67	665	0.25
Valor del Módulo (l/s/ha)								0.11

Fuente: Autor

Tabla 36. N.R Cultivo de Cebada y Trigo Cuenca Embalse del Sisga

MES	P (mm/mes)	ETo (mm/mes)	Pe (mm)	Coefficiente Kc	Uso Consumtivo	N R (mm)	Necesidad Neta de Riego (m3/ha)	Módulo de Consumo (l/s/ha)
Enero	15	72	1.9	0.3	18	16	162	0.06
Febrero	30	66	9.4	0	0	-9	-94	-0.04
Marzo	44	71	19.6	0.3	21	2	18	0.01
Abril	96	70	64.9	0.4	28	-37	-371	-0.14
Mayo	101	73	70	1.2	84	14	143	0.05
Junio	117	65	85	1.2	75	-10	-104	-0.04
Julio	103	68	71.6	0.3	17	-55	-546	-0.2
Agosto	83	72	53.2	0	0	-53	-532	-0.2
Septiembre	70	69	41.7	0.3	21	-21	-209	-0.08
Octubre	76	75	47.1	0.4	30	-17	-169	-0.06
Noviembre	53	66	27.2	1.2	76	49	493	0.19
Diciembre	32	67	10.8	1.2	77	67	665	0.25
Valor del Módulo (l/s/ha)								0.11

Fuente: Autor

Tabla 37. N.R Cultivo de Hortalizas Cuenca Embalse del Sisga

MES	P (mm/mes)	ETo (mm/mes)	Pe (mm)	Coefficiente Kc	Uso Consumtivo	N R (mm)	Necesidad Neta de Riego (m3/ha)	Módulo de Consumo (l/s/ha)
Enero	15	72	1.9	0.6	43	41	414	0.15
Febrero	30	66	9.4	0.6	39	30	300	0.12
Marzo	44	71	19.6	1.1	75	55	553	0.21
Abril	96	70	64.9	1	66	1	13	0
Mayo	101	73	70	0.6	44	-26	-260	-0.1
Junio	117	65	85	0.6	39	-46	-461	-0.18
Julio	103	68	71.6	1.1	72	0	-1	0
Agosto	83	72	53.2	1	68	15	150	0.06
Septiembre	70	69	41.7	0.6	42	0	0	0
Octubre	76	75	47.1	0.6	45	-2	-18	-0.01
Noviembre	53	66	27.2	1.1	70	43	426	0.16
Diciembre	32	67	10.8	1	64	53	531	0.2
Valor del Módulo (l/s/ha)								0.10

Fuente: Autor

Tabla 38. N.R Cultivo de Flores (invernadero) Cuenca Embalse del Sisga

MES	P (mm/mes)	ETo (mm/mes)	Pe (mm)	Coefficiente Kc	Uso Consumtivo	N R (mm)	Necesidad Neta de Riego (m3/ha)	Módulo de Consumo (l/s/ha)
Enero	15	72	1.9	1	72	72	720	0.27
Febrero	30	66	9.4	1	66	66	657	0.26
Marzo	44	71	19.6	0.9	64	64	642	0.24
Abril	96	70	64.9	1	70	70	697	0.27
Mayo	101	73	70	1	73	73	733	0.27
Junio	117	65	85	0.9	58	58	584	0.23
Julio	103	68	71.6	0.8	55	55	545	0.2
Agosto	83	72	53.2	1	72	72	717	0.27
Septiembre	70	69	41.7	1	69	69	694	0.27
Octubre	76	75	47.1	0.9	68	68	679	0.25
Noviembre	53	66	27.2	0.8	53	53	532	0.21
Diciembre	32	67	10.8	0.8	54	54	538	0.2
Valor del Módulo (l/s/ha)								0.24

Fuente: Autor

Tabla 39. N.R Cultivo de Legumbres Cuenca Embalse del Sisga

MES	P (mm/mes)	ETo (mm/mes)	Pe (mm)	Coefficiente Kc	Uso Consumtivo	N R (mm)	Necesidad Neta de Riego (m3/ha)	Módulo de Consumo (l/s/ha)
Enero	15	72	1.9	1	72	70	702	0.26
Febrero	30	66	9.4	0.6	39	30	300	0.12
Marzo	44	71	19.6	0.6	43	23	232	0.09
Abril	96	70	64.9	1	70	5	48	0.02
Mayo	101	73	70	0.6	44	-26	-260	-0.1
Junio	117	65	85	0.6	39	-46	-461	-0.18
Julio	103	68	71.6	1	68	-3	-35	-0.01
Agosto	83	72	53.2	0.6	43	-10	-102	-0.04
Septiembre	70	69	41.7	0.6	42	0	0	0
Octubre	76	75	47.1	1	75	28	284	0.11
Noviembre	53	66	27.2	0.6	40	13	127	0.05
Diciembre	32	67	10.8	0.6	40	30	295	0.11
Valor del Módulo (l/s/ha)								0.09

Fuente: Autor

Tabla 40. N.R Cultivo de Durazno Cuenca Embalse del Sisga

MES	P (mm/mes)	ETo (mm/mes)	Pe (mm)	Coefficiente Kc	Uso Consumtivo	N R (mm)	Necesidad Neta de Riego (m3/ha)	Módulo de Consumo (l/s/ha)
Enero	15	72	1.9	1.2	83	81	810	0.3
Febrero	30	66	9.4	1.2	76	66	661	0.26
Marzo	44	71	19.6	0.9	64	45	446	0.17
Abril	96	70	64.9	0.9	63	-2	-22	-0.01
Mayo	101	73	70	0.5	37	-33	-333	-0.12
Junio	117	65	85	0.5	32	-53	-526	-0.2
Julio	103	68	71.6	1.2	78	7	68	0.03
Agosto	83	72	53.2	1.2	82	29	293	0.11
Septiembre	70	69	41.7	0.9	62	21	208	0.08
Octubre	76	75	47.1	0.9	68	21	208	0.08
Noviembre	53	66	27.2	0.5	33	6	60	0.02
Diciembre	32	67	10.8	0.5	34	23	228	0.09
Valor del Módulo (l/s/ha)								0.13

Fuente: Autor

4.9.4 Resultados N.R y Módulos de Consumos para los Cultivos Cuenca Embalse de Tominé

Tabla 41. N.R Cultivo de Pasto Cuenca Embalse de Tominé

MES	P (mm/mes)	ETo (mm/mes)	Pe (mm)	Coefficiente Kc	Uso Consumtivo	N R (mm)	Necesidad Neta de Riego (m3/ha)	Módulo de Consumo (l/s/ha)
Enero	24	85	14.3	1	76	62	621	0.23
Febrero	53	73	41.8	1	70	28	280	0.11
Marzo	70	83	58.2	1	79	21	210	0.08
Abril	79	81	67.2	1	73	6	57	0.02
Mayo	67	87	55.7	1	82	27	267	0.1
Junio	35	76	24.2	1	73	48	483	0.19
Julio	37	85	26.5	1	77	50	501	0.19
Agosto	37	83	27	1	78	52	515	0.19
Septiembre	59	85	47.7	1	80	33	326	0.13
Octubre	75	87	63.1	1	78	15	154	0.06
Noviembre	61	75	49.6	1	71	22	217	0.08
Diciembre	32	77	21.4	1	73	52	517	0.19
Valor del Módulo (l/s/ha)								0.13

Fuente: Autor

Tabla 42. N.R Cultivo de Papa Cuenca Embalse de Tominé

MES	P (mm/mes)	ETo (mm/mes)	Pe (mm)	Coefficiente Kc	Uso Consumtivo	N R (mm)	Necesidad Neta de Riego (m3/ha)	Módulo de Consumo (l/s/ha)
Enero	24	85	14.3	0.8	68	54	536	0.2
Febrero	53	73	41.8	0	0	-42	-418	-0.17
Marzo	70	83	58.2	0.5	42	-17	-165	-0.06
Abril	79	81	67.2	0.5	41	-27	-267	-0.1
Mayo	67	87	55.7	1.2	100	44	441	0.16
Junio	35	76	24.2	1.2	88	64	636	0.25
Julio	37	85	26.5	0.8	64	37	373	0.14
Agosto	37	83	27	0	0	-27	-270	-0.1
Septiembre	59	85	47.7	0.5	42	-5	-55	-0.02
Octubre	75	87	63.1	0.5	44	-20	-195	-0.07
Noviembre	61	75	49.6	1.2	86	37	367	0.14
Diciembre	32	77	21.4	1.2	92	71	709	0.26
Valor del Módulo (l/s/ha)								0.19

Fuente: Autor

Tabla 43. N.R Cultivo de Maíz (choclo) Cuenca Embalse de Tominé

MES	P (mm/mes)	ETo (mm/mes)	Pe (mm)	Coefficiente Kc	Uso Consuntivo	N R (mm)	Necesidad Neta de Riego (m3/ha)	Módulo de Consumo (l/s/ha)
Enero	24	85	14.3	0.6	51	37	366	0.14
Febrero	53	73	41.8	0	0	-42	-418	-0.17
Marzo	70	83	58.2	0.3	25	-33	-332	-0.12
Abril	79	81	67.2	0.7	57	-10	-105	-0.04
Mayo	67	87	55.7	1.2	100	44	441	0.16
Junio	35	76	24.2	1.2	88	64	636	0.25
Julio	37	85	26.5	0.6	51	25	246	0.09
Agosto	37	83	27	0	0	-27	-270	-0.1
Septiembre	59	85	47.7	0.3	25	-22	-224	-0.09
Octubre	75	87	63.1	0.7	61	-2	-21	-0.01
Noviembre	61	75	49.6	1.2	86	37	367	0.14
Diciembre	32	77	21.4	1.2	88	67	671	0.25
Valor del Módulo (l/s/ha)								0.17

Fuente: Autor

Tabla 44. N.R Cultivo de Cebada y Trigo Cuenca Embalse de Tominé

MES	P (mm/mes)	ETo (mm/mes)	Pe (mm)	Coefficiente Kc	Uso Consuntivo	N R (mm)	Necesidad Neta de Riego (m3/ha)	Módulo de Consumo (l/s/ha)
Enero	24	85	14.3	0.3	21	7	69	0.03
Febrero	53	73	41.8	0	0	-42	-418	-0.17
Marzo	70	83	58.2	0.3	25	-33	-332	-0.12
Abril	79	81	67.2	0.4	32	-35	-348	-0.13
Mayo	67	87	55.7	1.2	100	44	441	0.16
Junio	35	76	24.2	1.2	88	64	636	0.25
Julio	37	85	26.5	0.3	21	-5	-52	-0.02
Agosto	37	83	27	0	0	-27	-270	-0.1
Septiembre	59	85	47.7	0.3	25	-22	-224	-0.09
Octubre	75	87	63.1	0.4	35	-28	-282	-0.11
Noviembre	61	75	49.6	1.2	86	37	367	0.14
Diciembre	32	77	21.4	1.2	88	67	671	0.25
Valor del Módulo (l/s/ha)								0.13

Fuente: Autor

Tabla 45. N.R Cultivo de Hortalizas Cuenca Embalse de Tominé

MES	P (mm/mes)	ETo (mm/mes)	Pe (mm)	Coefficiente Kc	Uso Consuntivo	N R (mm)	Necesidad Neta de Riego (m3/ha)	Módulo de Consumo (l/s/ha)
Enero	24	85	14.3	0.6	51	37	366	0.14
Febrero	53	73	41.8	0.6	44	2	23	0.01
Marzo	70	83	58.2	1.1	88	29	293	0.11
Abril	79	81	67.2	1	77	10	98	0.04
Mayo	67	87	55.7	0.6	52	-4	-37	-0.01
Junio	35	76	24.2	0.6	46	22	216	0.08
Julio	37	85	26.5	1.1	89	63	629	0.23
Agosto	37	83	27	1	78	52	515	0.19
Septiembre	59	85	47.7	0.6	51	3	30	0.01
Octubre	75	87	63.1	0.6	52	-11	-108	-0.04
Noviembre	61	75	49.6	1.1	79	29	292	0.11
Diciembre	32	77	21.4	1	73	52	517	0.19
Valor del Módulo (l/s/ha)								0.11

Fuente: Autor

Tabla 46. N.R Cultivo de Flores (Invernadero) Cuenca Embalse de Tominé

MES	P (mm/mes)	ETo (mm/mes)	Pe (mm)	Coefficiente Kc	Uso Consuntivo	N R (mm)	Necesidad Neta de Riego (m3/ha)	Módulo de Consumo (l/s/ha)
Enero	24	85	14.3	1	85	85	849	0.32
Febrero	53	73	41.8	1	73	73	735	0.29
Marzo	70	83	58.2	0.9	75	75	750	0.28
Abril	79	81	67.2	1	81	81	810	0.31
Mayo	67	87	55.7	1	87	87	868	0.32
Junio	35	76	24.2	0.9	69	69	687	0.27
Julio	37	85	26.5	0.8	68	68	681	0.25
Agosto	37	83	27	1	83	83	826	0.31
Septiembre	59	85	47.7	1	85	85	845	0.33
Octubre	75	87	63.1	0.9	78	78	785	0.29
Noviembre	61	75	49.6	0.8	60	60	600	0.23
Diciembre	32	77	21.4	0.8	62	62	615	0.23
Valor del Módulo (l/s/ha)								0.29

Fuente: Autor

Tabla 47. N.R Cultivo de Legumbres Cuenca Embalse de Tominé

MES	P (mm/mes)	ETo (mm/mes)	Pe (mm)	Coefficiente Kc	Uso Consuntivo	N R (mm)	Necesidad Neta de Riego (m3/ha)	Módulo de Consumo (l/s/ha)
Enero	24	85	14.3	1	85	71	706	0.26
Febrero	53	73	41.8	0.6	44	2	23	0.01
Marzo	70	83	58.2	0.6	50	-8	-82	-0.03
Abril	79	81	67.2	1	81	14	138	0.05
Mayo	67	87	55.7	0.6	52	-4	-37	-0.01
Junio	35	76	24.2	0.6	46	22	216	0.08
Julio	37	85	26.5	1	85	59	586	0.22
Agosto	37	83	27	0.6	50	23	226	0.08
Septiembre	59	85	47.7	0.6	51	3	30	0.01
Octubre	75	87	63.1	1	87	24	241	0.09
Noviembre	61	75	49.6	0.6	45	-5	-46	-0.02
Diciembre	32	77	21.4	0.6	46	25	248	0.09
Valor del Módulo (l/s/ha)								0.10

Fuente: Autor

Tabla 48. N.R Cultivo de Mora (arbusto) Cuenca Embalse de Tominé

MES	P (mm/mes)	ETo (mm/mes)	Pe (mm)	Coefficiente Kc	Uso Consuntivo	N R (mm)	Necesidad Neta de Riego (m3/ha)	Módulo de Consumo (l/s/ha)
Enero	24	85	14.3	1.1	89	75	748	0.28
Febrero	53	73	41.8	0.5	37	-5	-51	-0.02
Marzo	70	83	58.2	0.5	42	-17	-165	-0.06
Abril	79	81	67.2	0.3	24	-43	-429	-0.17
Mayo	67	87	55.7	0.3	26	-30	-297	-0.11
Junio	35	76	24.2	1.1	80	56	559	0.22
Julio	37	85	26.5	1.1	89	63	629	0.23
Agosto	37	83	27	0.5	41	14	144	0.05
Septiembre	59	85	47.7	0.5	42	-5	-55	-0.02
Octubre	75	87	63.1	0.3	26	-37	-369	-0.14
Noviembre	61	75	49.6	0.3	23	-27	-271	-0.1
Diciembre	32	77	21.4	1.1	81	59	594	0.22
Valor del Módulo (l/s/ha)								0.17

Fuente: Autor

4.9.5 Resultados N.R y Módulos de Consumos para los Cultivos Cuenca Río Neusa

Tabla 49. N.R Cultivo de Pasto Cuenca Río Neusa

MES	P (mm/mes)	ETo (mm/mes)	Pe (mm)	Coefficiente Kc	Uso Consuntivo	N R (mm)	Necesidad Neta de Riego (m3/ha)	Módulo de Consumo (l/s/ha)
Enero	28	78	10.9	1	70	59	590	0.22
Febrero	42	72	21.7	1	68	46	464	0.19
Marzo	86	75	61.2	1	71	10	97	0.04
Abril	95	73	69.5	1	65	-4	-41	-0.02
Mayo	100	78	74.1	1	74	0	4	0
Junio	60	66	37.5	1	63	25	253	0.1
Julio	62	70	39.3	1	63	23	235	0.09
Agosto	55	73	33.1	1	69	36	361	0.13
Septiembre	66	74	42.8	1	71	28	279	0.11
Octubre	113	80	86.8	1	72	-15	-150	-0.06
Noviembre	101	68	75.7	1	64	-11	-113	-0.04
Diciembre	46	72	24.6	1	68	44	436	0.16
Valor del Módulo (l/s/ha)								0.11

Fuente: Autor

Tabla 50. N.R Cultivo de Maíz (choclo) Cuenca Río Neusa

MES	P (mm/mes)	ETo (mm/mes)	Pe (mm)	Coefficiente Kc	Uso Consuntivo	N R (mm)	Necesidad Neta de Riego (m3/ha)	Módulo de Consumo (l/s/ha)
Enero	28	78	10.9	0.6	47	36	357	0.13
Febrero	42	72	21.7	0	0	-22	-217	-0.09
Marzo	86	75	61.2	0.3	22	-39	-388	-0.14
Abril	95	73	69.5	0.7	51	-19	-186	-0.07
Mayo	100	78	74.1	1.2	90	16	160	0.06
Junio	60	66	37.5	1.2	76	39	386	0.15
Julio	62	70	39.3	0.6	42	3	26	0.01
Agosto	55	73	33.1	0	0	-33	-331	-0.12
Septiembre	66	74	42.8	0.3	22	-20	-205	-0.08
Octubre	113	80	86.8	0.7	56	-31	-310	-0.12
Noviembre	101	68	75.7	1.2	78	2	22	0.01
Diciembre	46	72	24.6	1.2	83	58	580	0.22
Valor del Módulo (l/s/ha)								0.10

Fuente: Autor

Tabla 51. N.R Cultivo de Cebada y Trigo Cuenca Río Neusa

MES	P (mm/mes)	ETo (mm/mes)	Pe (mm)	Coefficiente Kc	Uso Consuntivo	N R (mm)	Necesidad Neta de Riego (m3/ha)	Módulo de Consumo (l/s/ha)
Enero	28	78	10.9	0.3	19	9	85	0.03
Febrero	42	72	21.7	0	0	-22	-217	-0.09
Marzo	86	75	61.2	0.3	22	-39	-388	-0.14
Abril	95	73	69.5	0.4	29	-40	-404	-0.16
Mayo	100	78	74.1	1.2	90	16	160	0.06
Junio	60	66	37.5	1.2	76	39	386	0.15
Julio	62	70	39.3	0.3	17	-22	-219	-0.08
Agosto	55	73	33.1	0	0	-33	-331	-0.12
Septiembre	66	74	42.8	0.3	22	-20	-205	-0.08
Octubre	113	80	86.8	0.4	32	-55	-549	-0.21
Noviembre	101	68	75.7	1.2	78	2	22	0.01
Diciembre	46	72	24.6	1.2	83	58	580	0.22
Valor del Módulo (l/s/ha)								0.09

Fuente: Autor

Tabla 52. N.R Cultivo de Hortalizas Cuenca Río Neusa

MES	P (mm/mes)	ETo (mm/mes)	Pe (mm)	Coefficiente Kc	Uso Consuntivo	N R (mm)	Necesidad Neta de Riego (m3/ha)	Módulo de Consumo (l/s/ha)
Enero	28	78	10.9	0.6	47	36	357	0.13
Febrero	42	72	21.7	0.6	43	21	213	0.08
Marzo	86	75	61.2	1.1	78	17	172	0.06
Abril	95	73	69.5	1	69	0	-5	0
Mayo	100	78	74.1	0.6	47	-27	-270	-0.1
Junio	60	66	37.5	0.6	40	2	22	0.01
Julio	62	70	39.3	1.1	73	34	339	0.13
Agosto	55	73	33.1	1	69	36	361	0.13
Septiembre	66	74	42.8	0.6	45	2	19	0.01
Octubre	113	80	86.8	0.6	48	-39	-390	-0.15
Noviembre	101	68	75.7	1.1	71	-5	-46	-0.02
Diciembre	46	72	24.6	1	68	44	436	0.16
Valor del Módulo (l/s/ha)								0.07

Fuente: Autor

Tabla 53. N.R Cultivo de Flores (Invernadero) Cuenca Río Neusa

MES	P (mm/mes)	ETo (mm/mes)	Pe (mm)	Coefficiente Kc	Uso Consuntivo	N R (mm)	Necesidad Neta de Riego (m3/ha)	Módulo de Consumo (l/s/ha)
Enero	28	78	10.9	1	78	78	776	0.29
Febrero	42	72	21.7	1	72	72	716	0.29
Marzo	86	75	61.2	0.9	67	67	672	0.25
Abril	95	73	69.5	1	73	73	726	0.28
Mayo	100	78	74.1	1	78	78	783	0.29
Junio	60	66	37.5	0.9	59	59	595	0.23
Julio	62	70	39.3	0.8	56	56	558	0.21
Agosto	55	73	33.1	1	73	73	729	0.27
Septiembre	66	74	42.8	1	74	74	745	0.29
Octubre	113	80	86.8	0.9	72	72	718	0.27
Noviembre	101	68	75.7	0.8	54	54	542	0.21
Diciembre	46	72	24.6	0.8	57	57	574	0.21
Valor del Módulo (l/s/ha)								0.26

Fuente: Autor

Tabla 54. N.R Cultivo de Legumbres Cuenca Río Neusa

MES	P (mm/mes)	ETo (mm/mes)	Pe (mm)	Coefficiente Kc	Uso Consuntivo	N R (mm)	Necesidad Neta de Riego (m3/ha)	Módulo de Consumo (l/s/ha)
Enero	28	78	10.9	1	78	67	667	0.25
Febrero	42	72	21.7	0.6	43	21	213	0.08
Marzo	86	75	61.2	0.6	45	-16	-164	-0.06
Abril	95	73	69.5	1	73	3	32	0.01
Mayo	100	78	74.1	0.6	47	-27	-270	-0.1
Junio	60	66	37.5	0.6	40	2	22	0.01
Julio	62	70	39.3	1	70	30	304	0.11
Agosto	55	73	33.1	0.6	44	11	106	0.04
Septiembre	66	74	42.8	0.6	45	2	19	0.01
Octubre	113	80	86.8	1	80	-7	-70	-0.03
Noviembre	101	68	75.7	0.6	41	-35	-350	-0.14
Diciembre	46	72	24.6	0.6	43	18	185	0.07
Valor del Módulo (l/s/ha)								0.05

Fuente: Autor

Tabla 55. N.R Cultivo de Cítricos Cuenca Río Neusa

MES	P (mm/mes)	ETo (mm/mes)	Pe (mm)	Coefficiente Kc	Uso Consuntivo	N R (mm)	Necesidad Neta de Riego (m3/ha)	Módulo de Consumo (l/s/ha)
Enero	28	78	10.9	0.9	70	59	590	0.22
Febrero	42	72	21.7	0.7	47	25	249	0.1
Marzo	86	75	61.2	0.4	30	-31	-313	-0.12
Abril	95	73	69.5	0.9	65	-4	-41	-0.02
Mayo	100	78	74.1	0.7	51	-23	-231	-0.09
Junio	60	66	37.5	0.4	26	-11	-110	-0.04
Julio	62	70	39.3	0.9	63	23	235	0.09
Agosto	55	73	33.1	0.7	47	14	143	0.05
Septiembre	66	74	42.8	0.4	30	-13	-130	-0.05
Octubre	113	80	86.8	0.9	72	-15	-150	-0.06
Noviembre	101	68	75.7	0.7	44	-32	-317	-0.12
Diciembre	46	72	24.6	0.4	29	4	41	0.02
Valor del Módulo (l/s/ha)								0.10

Fuente: Autor

Tabla 56. N.R Cultivo de Durazno Cuenca Río Neusa

MES	P (mm/mes)	ETo (mm/mes)	Pe (mm)	Coefficiente Kc	Uso Consuntivo	N R (mm)	Necesidad Neta de Riego (m3/ha)	Módulo de Consumo (l/s/ha)
Enero	28	78	10.9	1.2	89	78	784	0.29
Febrero	42	72	21.7	1.2	82	61	607	0.24
Marzo	86	75	61.2	0.9	67	6	60	0.02
Abril	95	73	69.5	0.9	65	-4	-41	-0.02
Mayo	100	78	74.1	0.5	39	-35	-349	-0.13
Junio	60	66	37.5	0.5	33	-4	-44	-0.02
Julio	62	70	39.3	1.2	80	41	409	0.15
Agosto	55	73	33.1	1.2	84	51	507	0.19
Septiembre	66	74	42.8	0.9	67	24	242	0.09
Octubre	113	80	86.8	0.9	72	-15	-150	-0.06
Noviembre	101	68	75.7	0.5	34	-42	-418	-0.16
Diciembre	46	72	24.6	0.5	36	11	113	0.04
Valor del Módulo (l/s/ha)								0.15

Fuente: Autor

4.9.6 Resultados N.R y Módulos de Consumos para los Cultivos Cuenca Río Negro

Tabla 57. N.R Cultivo de Pasto Cuenca Río Negro

MES	P (mm/mes)	ETo (mm/mes)	Pe (mm)	Coefficiente Kc	Uso Consuntivo	N R (mm)	Necesidad Neta de Riego (m3/ha)	Módulo de Consumo (l/s/ha)
Enero	39	75	18.4	1	67	49	487	0.18
Febrero	54	68	31	1	64	33	333	0.13
Marzo	78	72	52.1	1	68	16	159	0.06
Abril	129	74	100.5	1	66	-34	-341	-0.13
Mayo	149	79	120.5	1	75	-45	-454	-0.17
Junio	105	75	77.5	1	71	-7	-65	-0.03
Julio	111	79	83.6	1	71	-13	-127	-0.05
Agosto	94	79	67.6	1	75	8	78	0.03
Septiembre	89	77	62.7	1	73	10	102	0.04
Octubre	139	79	110.2	1	71	-39	-387	-0.14
Noviembre	110	68	82.4	1	64	-18	-180	-0.07
Diciembre	59	69	35	1	65	30	304	0.11
Valor del Módulo (l/s/ha)								0.09

Fuente: Autor

Tabla 58. N.R Cultivo de Maíz (choclo) Cuenca Río Negro

MES	P (mm/mes)	ETo (mm/mes)	Pe (mm)	Coefficiente Kc	Uso Consuntivo	N R (mm)	Necesidad Neta de Riego (m3/ha)	Módulo de Consumo (l/s/ha)
Enero	39	75	18.4	0.6	45	26	263	0.1
Febrero	54	68	31	0	0	-31	-310	-0.12
Marzo	78	72	52.1	0.3	21	-31	-306	-0.11
Abril	129	74	100.5	0.7	52	-49	-489	-0.19
Mayo	149	79	120.5	1.2	91	-30	-296	-0.11
Junio	105	75	77.5	1.2	86	8	84	0.03
Julio	111	79	83.6	0.6	47	-36	-364	-0.14
Agosto	94	79	67.6	0	0	-68	-676	-0.25
Septiembre	89	77	62.7	0.3	23	-40	-397	-0.15
Octubre	139	79	110.2	0.7	56	-55	-546	-0.2
Noviembre	110	68	82.4	1.2	78	-4	-45	-0.02
Diciembre	59	69	35	1.2	79	44	441	0.16
Valor del Módulo (l/s/ha)								0.09

Fuente: Autor

Tabla 59. N.R Cultivo de Cebada Cuenca Río Negro

MES	P (mm/mes)	ETo (mm/mes)	Pe (mm)	Coefficiente Kc	Uso Consuntivo	N R (mm)	Necesidad Neta de Riego (m3/ha)	Módulo de Consumo (l/s/ha)
Enero	39	75	18.4	0.3	19	0	2	0
Febrero	54	68	31	0	0	-31	-310	-0.12
Marzo	78	72	52.1	0.3	21	-31	-306	-0.11
Abril	129	74	100.5	0.4	30	-71	-710	-0.27
Mayo	149	79	120.5	1.2	91	-30	-296	-0.11
Junio	105	75	77.5	1.2	86	8	84	0.03
Julio	111	79	83.6	0.3	20	-64	-639	-0.24
Agosto	94	79	67.6	0	0	-68	-676	-0.25
Septiembre	89	77	62.7	0.3	23	-40	-397	-0.15
Octubre	139	79	110.2	0.4	32	-78	-784	-0.29
Noviembre	110	68	82.4	1.2	78	-4	-45	-0.02
Diciembre	59	69	35	1.2	79	44	441	0.16
Valor del Módulo (l/s/ha)								0.09

Fuente: Autor

Tabla 60. N.R Cultivo de Hortalizas Cuenca Río Negro

MES	P (mm/mes)	ETo (mm/mes)	Pe (mm)	Coefficiente Kc	Uso Consuntivo	N R (mm)	Necesidad Neta de Riego (m3/ha)	Módulo de Consumo (l/s/ha)
Enero	39	75	18.4	0.6	45	26	263	0.1
Febrero	54	68	31	0.6	41	10	96	0.04
Marzo	78	72	52.1	1.1	75	23	231	0.09
Abril	129	74	100.5	1	70	-30	-304	-0.12
Mayo	149	79	120.5	0.6	47	-73	-731	-0.27
Junio	105	75	77.5	0.6	45	-33	-327	-0.13
Julio	111	79	83.6	1.1	83	-1	-9	0
Agosto	94	79	67.6	1	75	8	78	0.03
Septiembre	89	77	62.7	0.6	46	-17	-167	-0.06
Octubre	139	79	110.2	0.6	48	-63	-625	-0.23
Noviembre	110	68	82.4	1.1	71	-11	-112	-0.04
Diciembre	59	69	35	1	65	30	304	0.11
Valor del Módulo (l/s/ha)								0.06

Fuente: Autor

Tabla 61. N.R Cultivo de Legumbres Cuenca Río Negro

MES	P (mm/mes)	ETo (mm/mes)	Pe (mm)	Coefficiente Kc	Uso Consuntivo	N R (mm)	Necesidad Neta de Riego (m3/ha)	Módulo de Consumo (l/s/ha)
Enero	39	75	18.4	1	75	56	562	0.21
Febrero	54	68	31	0.6	41	10	96	0.04
Marzo	78	72	52.1	0.6	43	-9	-92	-0.03
Abril	129	74	100.5	1	74	-27	-267	-0.1
Mayo	149	79	120.5	0.6	47	-73	-731	-0.27
Junio	105	75	77.5	0.6	45	-33	-327	-0.13
Julio	111	79	83.6	1	79	-5	-49	-0.02
Agosto	94	79	67.6	0.6	48	-20	-200	-0.07
Septiembre	89	77	62.7	0.6	46	-17	-167	-0.06
Octubre	139	79	110.2	1	79	-31	-308	-0.11
Noviembre	110	68	82.4	0.6	41	-42	-417	-0.16
Diciembre	59	69	35	0.6	41	6	63	0.02
Valor del Módulo (l/s/ha)								0.09

Fuente: Autor

Tabla 62. N.R Cultivo de Durazno Cuenca Río Negro

MES	P (mm/mes)	ETo (mm/mes)	Pe (mm)	Coefficiente Kc	Uso Consuntivo	N R (mm)	Necesidad Neta de Riego (m3/ha)	Módulo de Consumo (l/s/ha)
Enero	39	75	18.4	1.2	86	67	674	0.25
Febrero	54	68	31	1.2	78	47	468	0.19
Marzo	78	72	52.1	0.9	64	12	123	0.05
Abril	129	74	100.5	0.9	66	-34	-341	-0.13
Mayo	149	79	120.5	0.5	40	-81	-810	-0.3
Junio	105	75	77.5	0.5	37	-40	-402	-0.15
Julio	111	79	83.6	1.2	91	7	70	0.03
Agosto	94	79	67.6	1.2	91	24	237	0.09
Septiembre	89	77	62.7	0.9	69	6	63	0.02
Octubre	139	79	110.2	0.9	71	-39	-387	-0.14
Noviembre	110	68	82.4	0.5	34	-49	-485	-0.19
Diciembre	59	69	35	0.5	34	-1	-6	0
Valor del Módulo (l/s/ha)								0.09

Fuente: Autor

5 VALIDACIÓN DE LOS MÓDULOS DE CONSUMO MEDIANTE EL SOFTWARE CROPWAT 0.8

5.1 Cargue de Información

El procedimiento para el cargue de la información al software, se explica en el capítulo 2.5 del presente trabajo. Sin embargo en la **Ilustración 22** se muestra las variables y los datos necesarios para correr el modelo.

Ilustración 22. Esquema de entrada de datos al Software de validación CROPWAT 0.8



Fuente: *Autor*

5.2 Resultados de la Evapotranspiración Potencial (ET_o)

Uno de los objetivos del presente trabajo es determinar la ET_o con la metodología Penman-Monteith, así que configuramos las opciones de cálculo del CROPWAT (ver **Ilustración 23**) para determinar ET_o por dicho método, y modificamos las

unidades de entrada para cada variable asociada con el clima en las unidades que más nos convengan.

Ilustración 23. Opciones de CROPWAT

Fuente: Autor

Luego de ingresar la información del clima el programa automáticamente nos calcula la radiación y la Evapotranspiración Potencial como se muestra a continuación.

Ilustración 24. Ventana de Salida para el valor de la ETo – Cuenca Alta del Bogotá

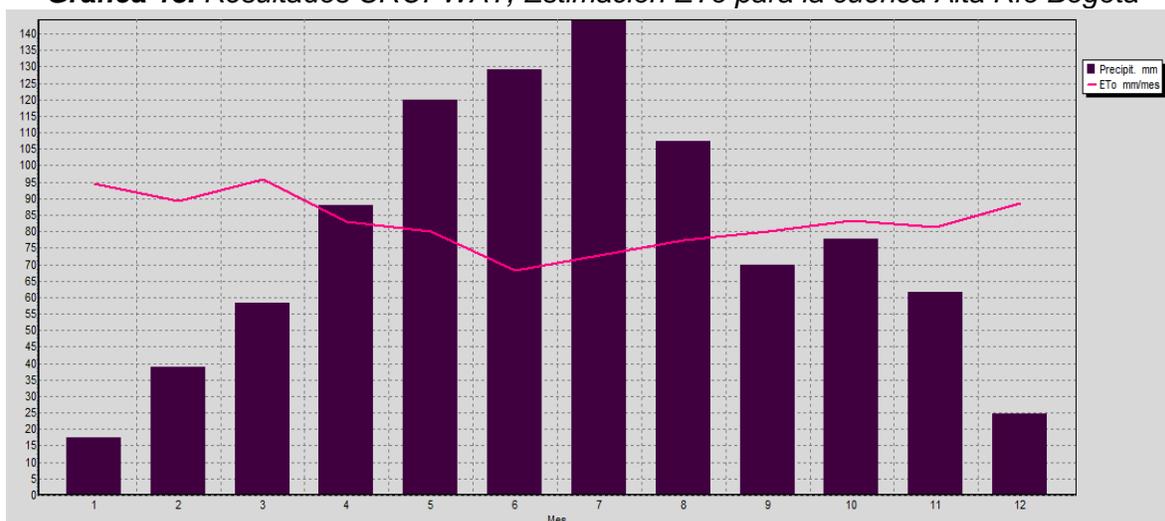
Mes	Temp Min °C	Temp Max °C	Humedad %	Viento m/s	Insolación horas	Rad MJ/m²/día	ETo mm/mes
Enero	6.6	18.2	79	2.6	6.5	18.0	94.70
Febrero	7.6	18.4	78	3.5	5.8	17.8	89.35
Marzo	8.2	18.4	79	3.4	4.7	16.7	95.86
Abril	9.0	17.6	82	3.2	3.7	15.1	82.86
Mayo	9.1	17.0	84	3.1	3.7	14.5	79.99
Junio	8.9	15.7	84	3.2	2.5	12.4	68.12
Julio	8.5	15.1	83	3.2	3.1	13.4	72.74
Agosto	8.5	15.7	83	3.0	3.5	14.5	77.50
Septiembre	7.9	16.5	83	2.5	4.1	15.6	80.16
Octubre	8.2	17.2	83	2.2	4.3	15.6	83.41
Noviembre	8.4	17.5	81	2.6	4.6	15.4	81.45
Diciembre	7.3	17.7	80	2.4	5.9	16.8	88.49
Promedio	8.2	17.1	82	2.9	4.4	15.5	994.64

Fuente: Autor

A continuación, comparamos los resultados obtenidos con el CROPWAT 8.0, con los calculados de manera manual para validar el cálculo y realizar el análisis. Lo anterior se realiza para las seis cuencas objeto de estudio.

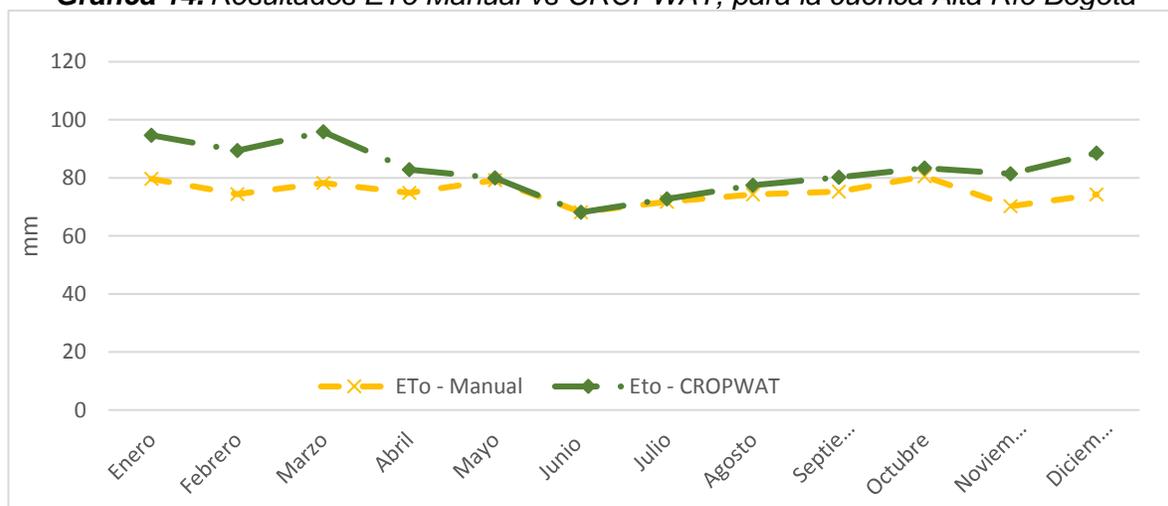
Estimación ETo Cuenca Alta del Río Bogotá: La línea rosada de la **Gráfica 13**, nos muestra el valor calculado para la ETo (mm), y las barras nos indican la Precipitación Total mensual (mm), en la cuenca alta del río Bogotá y calculada por el CROPWAT.

Gráfica 13. Resultados CROPWAT, Estimación ETo para la cuenca Alta Río Bogotá



Fuente: CROPWAT - Autor

Gráfica 14. Resultados ETo Manual vs CROPWAT, para la cuenca Alta Río Bogotá

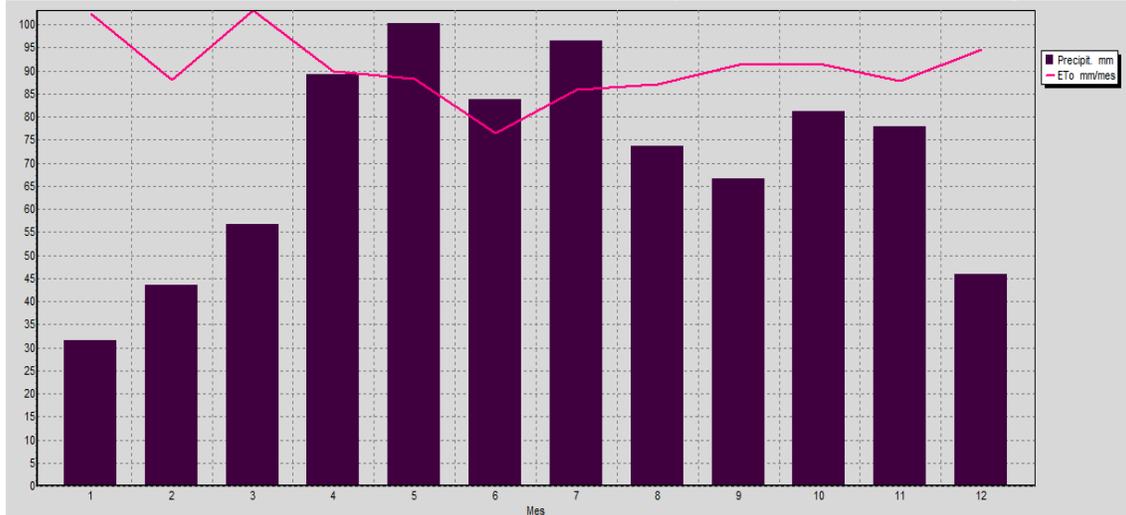


Fuente: CROPWAT - Autor

Estimación ETo Cuenca Sector Sisga - Tibitoc: La línea rosada de la

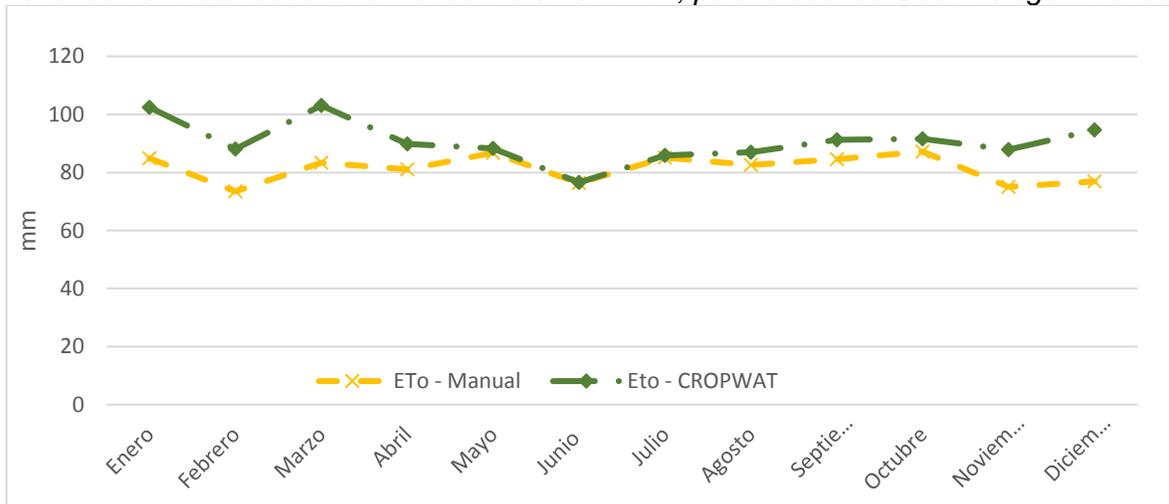
Gráfica 15, nos muestra el valor calculado para la ETo (mm), y las barras nos indican la Precipitación Total mensual (mm), en la cuenca Sector Sisga- Tibitoc y calculada por el CROPWAT.

Gráfica 15. Resultados CROPWAT, Estimación ETo para la cuenca Sector Sisga - Tibitoc



Fuente: CROPWAT - Autor

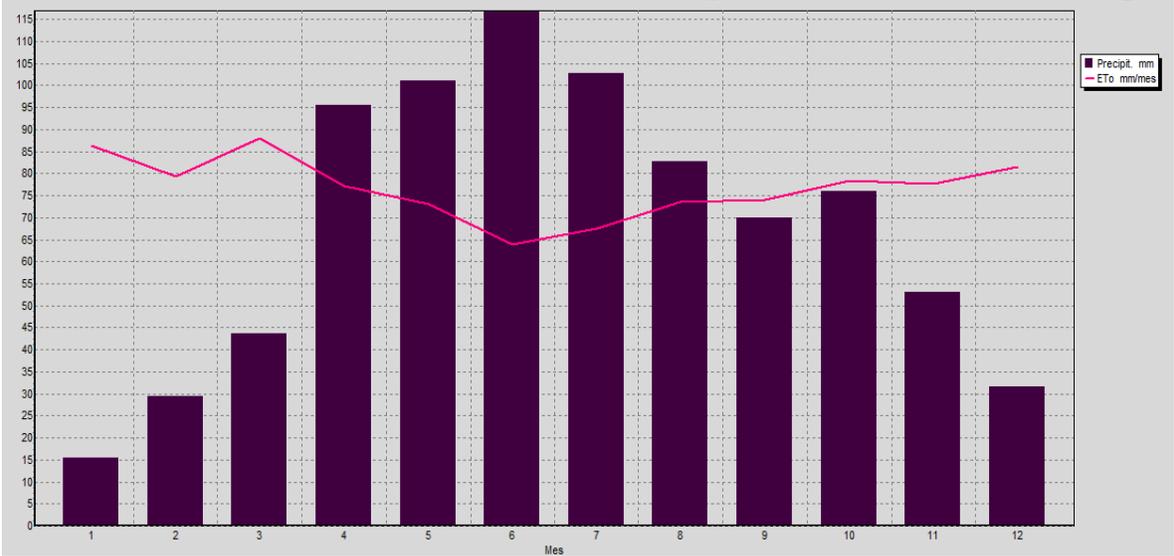
Gráfica 16. Resultados ETo Manual vs CROPWAT, para la cuenca Sector Sisga - Tibitoc



Fuente: CROPWAT - Autor

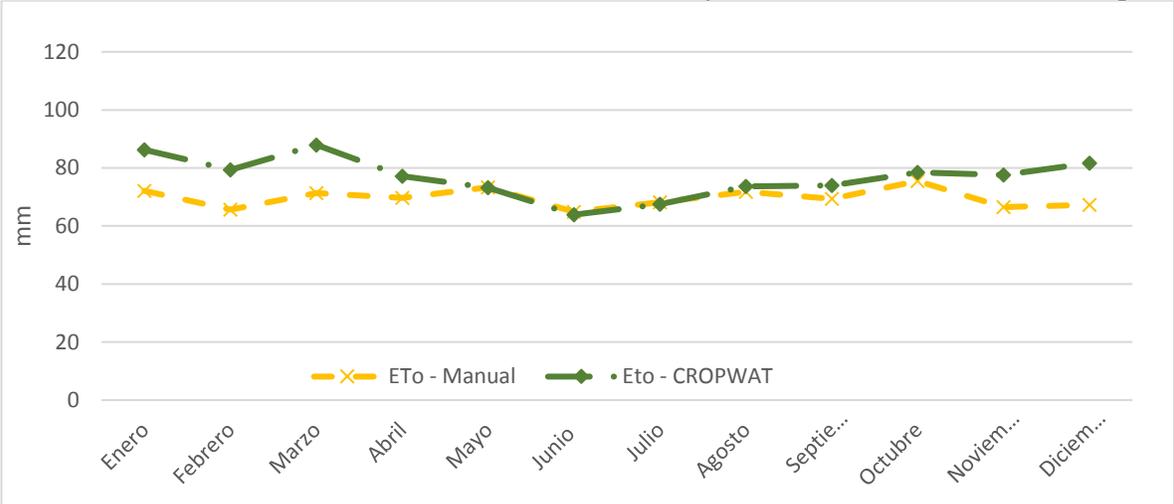
Estimación ETo Cuenca Embalse del Sisga: La línea rosada de la **Gráfica 17**, nos muestra el valor calculado para la ETo (mm), y las barras nos indican la Precipitación Total mensual (mm), en la cuenca Embalse del Sisga y calculada por el CROPWAT.

Gráfica 17. Resultados CROPWAT, Estimación ETo para la cuenca Embalse del Sisga



Fuente: CROPWAT - Autor

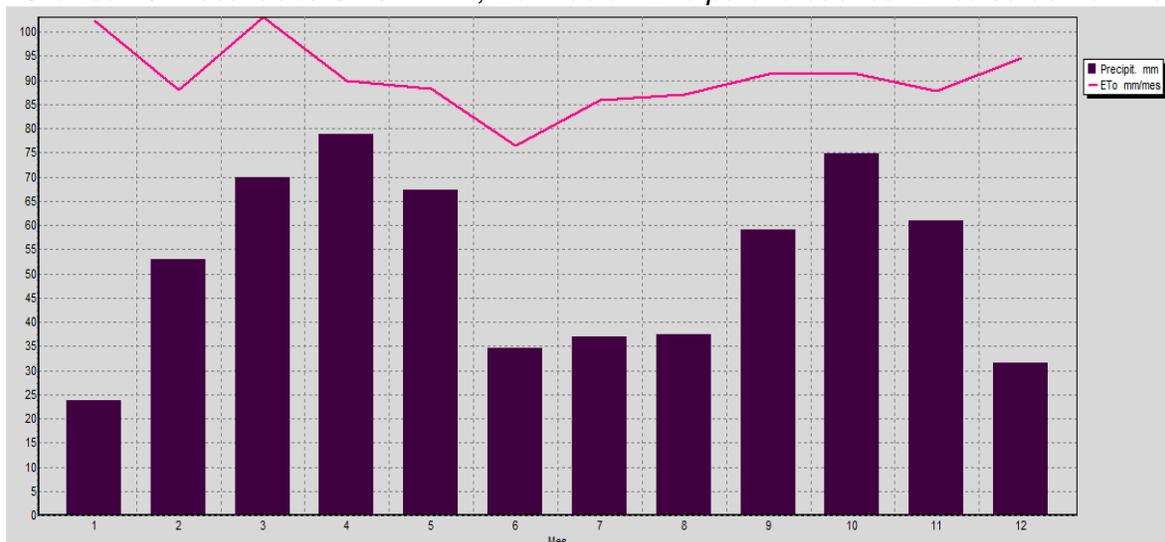
Gráfica 18. Resultados ETo Manual vs CROPWAT, para la cuenca Embalse del Sisga



Fuente: CROPWAT - Autor

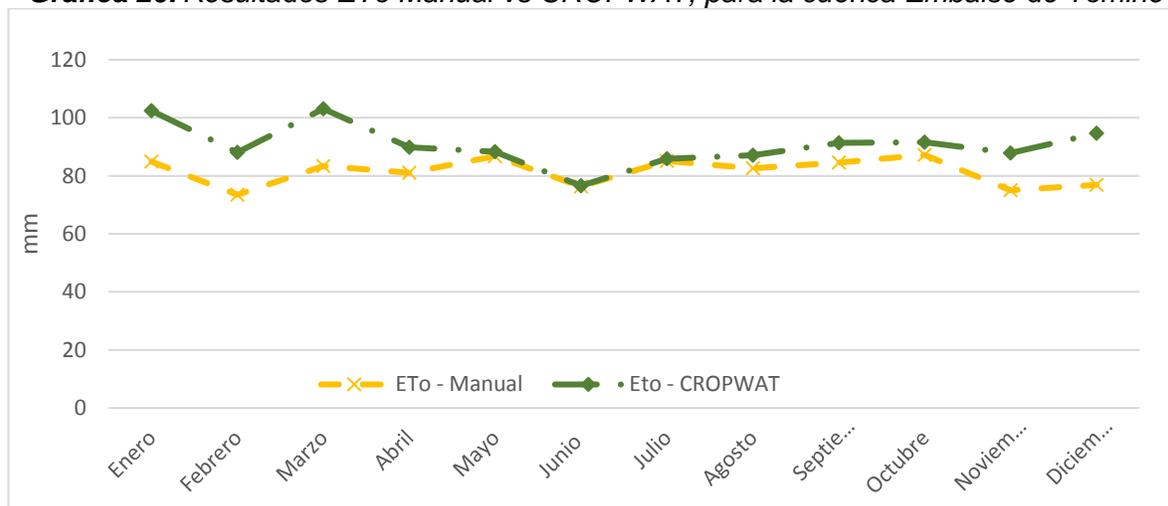
Estimación ETo Cuenca Embalse de Tominé: La línea rosada de la **Gráfica 19**, nos muestra el valor calculado para la ETo (mm), y las barras nos indican la Precipitación Total mensual (mm), en la cuenca Embalse de Tominé y calculada por el CROPWAT.

Gráfica 19. Resultados CROPWAT, Estimación ETo para la cuenca Embalse de Tominé



Fuente: CROPWAT - Autor

Gráfica 20. Resultados ETo Manual vs CROPWAT, para la cuenca Embalse de Tominé



Fuente: CROPWAT - Autor

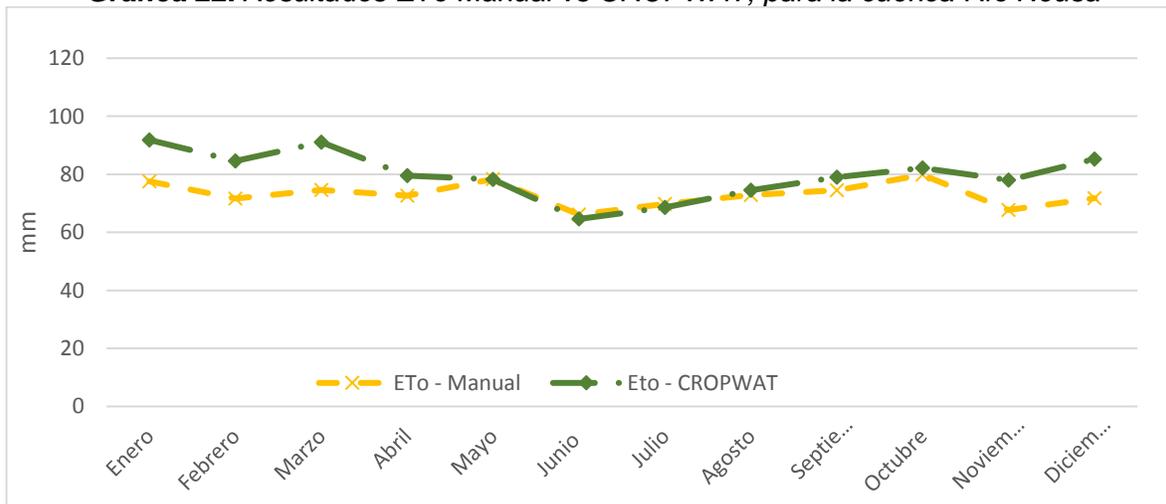
Estimación ETo Cuenca Río Neusa: La línea rosada de la **Gráfica 21**, nos muestra el valor calculado para la ETo (mm), y las barras nos indican la Precipitación Total mensual (mm), en la cuenca del Río Neusa y calculada por el CROPWAT.

Gráfica 21. Resultados CROPWAT, Estimación ETo para la cuenca Río Neusa



Fuente: CROPWAT - Autor

Gráfica 22. Resultados ETo Manual vs CROPWAT, para la cuenca Río Neusa



Fuente: CROPWAT - Autor

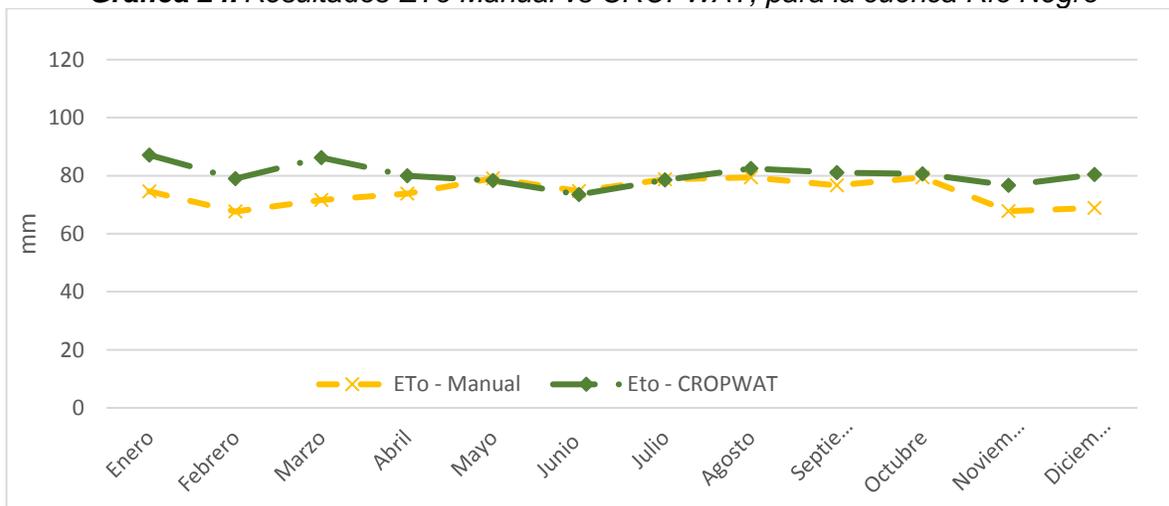
Estimación ETo Cuenca Río Negro: La línea rosada de la **Gráfica 21**, nos muestra el valor calculado para la ETo (mm), y las barras nos indican la Precipitación Total mensual (mm), en la cuenca del Río Negro y calculada por el CROPWAT.

Gráfica 23. Resultados CROPWAT, Estimación ETo para la cuenca Río Negro



Fuente: CROPWAT - Autor

Gráfica 24. Resultados ETo Manual vs CROPWAT, para la cuenca Río Negro



Fuente: CROPWAT - Autor

De las gráficas anteriores donde comparamos la ETo calculada manual vs el resultado del software CROPWAT, se puede concluir que el mayor error en el cálculo manual se presenta al principio y al final del año, esto ocurre debido a que el estimativo de manera manual no se ha tenido en cuenta la humedad antecedente. En los meses intermedios de cada año la ETo calculada manualmente es similar a la obtenida en el CROPWAT. Esto es debido a que el agua almacenada se ha nivelado, y se estabiliza el balance hídrico produciendo resultados similares en los meses de mayo, junio y julio.

5.3 Resultados del CROPWAT – Módulos de Consumo Cultivos

Teniendo en cuenta que el Software solo muestra los resultados diarios de las necesidades de riego por cultivo, y según el periodo de siembra del mismo (ver **Tabla 17**. Duración de las etapas de crecimiento del cultivo para distintos períodos de siembra. Y Para el cálculo manual se muestran las NR mensuales en las diferentes fases que tiene el cultivo durante el año. Se procedió a va a validar el módulo de consumo solo para un cultivo por cuenca, verificando las diferentes etapas durante el año como se mostró en los cálculos manuales.

Módulo de Consumo Cuenca Alta Río Bogotá Cultivo de Papa: El programa muestra necesidades de riego y el valor del módulo (l/s/ha), con una frecuencia diaria (ver **Ilustración 25**). El informe de la programación para este cultivo se adjunta como anexo.

Tomando los valores diarios, y promediándolos para los dos periodos de siembra el valor del módulo para el cultivo de papa en la cuenca alta del río Bogotá según los resultados del CROPWAT, es de **0.25 l/s/ha** (ver anexo).

Ilustración 25. Programación de Riego para el cultivo de papa, en la cuenca alta del Rio Bogotá

Fecha	Día	Etapa	Precipit.	Ks	ETa	Agot.	Lám. Neta	Déficit	Pérdida	Lam. Br.	Caudal
			mm	fracc.	%	%	mm	mm	mm	mm	l/s/ha
2 Sep	2	Ini	0.0	1.00	100	4	0.2	2.4	0.0	0.2	0.01
4 Sep	4	Ini	0.0	1.00	100	4	0.1	2.5	0.0	0.2	0.01
5 Sep	5	Ini	0.0	1.00	100	6	1.3	2.5	0.0	1.8	0.21
6 Sep	6	Ini	0.0	1.00	100	6	1.3	2.5	0.0	1.8	0.21
8 Sep	8	Ini	0.0	1.00	100	4	0.0	2.6	0.0	0.1	0.00
9 Sep	9	Ini	0.0	1.00	100	6	1.3	2.6	0.0	1.8	0.21
10 Sep	10	Ini	0.0	1.00	100	6	1.3	2.6	0.0	1.8	0.21
11 Sep	11	Ini	0.0	1.00	100	6	1.3	2.6	0.0	1.9	0.22
12 Sep	12	Ini	0.0	1.00	100	6	1.3	2.7	0.0	1.9	0.22
15 Sep	15	Ini	0.0	1.00	100	6	1.3	2.7	0.0	1.8	0.07
16 Sep	16	Ini	0.0	1.00	100	6	1.3	2.7	0.0	1.9	0.22
19 Sep	19	Ini	0.0	1.00	100	6	1.2	2.8	0.0	1.7	0.07
20 Sep	20	Ini	0.0	1.00	100	6	1.3	2.8	0.0	1.9	0.22
21 Sep	21	Ini	0.0	1.00	100	6	1.4	2.9	0.0	2.0	0.23
22 Sep	22	Ini	0.0	1.00	100	6	1.4	2.9	0.0	2.0	0.23

Fuente: CROPWAT - Autor

Módulo de Consumo Cuenca Sector Sisga - Tibitoc Cultivo de Maíz (choclo):

Las necesidades de riego y el valor del módulo (l/s/ha), el programa lo muestra con una frecuencia de 63, 73 y 94 días (ver **Ilustración 26**), por lo tanto el informe total de la programación para este cultivo se adjunta como anexo.

Tomando los valores diarios, y promediándolos para los dos periodos de siembra el valor del módulo para el cultivo de maíz en la cuenca Sector Sisga - Tibitoc los resultados del CROPWAT, es de **0.14 l/s/ha** (ver anexo).

Ilustración 26. Programación de Riego para el cultivo de Maíz (choclo), en la cuenca Sector Sisga - Tibitoc

Programación de riego de cultivo

ETo estación: CHECHA-NEMOCON Cultivo: Maiz (choclo) Siembra: 01/03 Red. Rend.: 0.0 %
 Est. de lluvia: CHECUA-NEMOCON Suelo: Franco Arcilloso Cosecha: 08/06

Formato de Tabla:
 Program. de riego
 Bal. diario de agua de suelo

Momento: Regar bajo o sobre agotamiento crítico
 Aplicación: Reponer agua debajo / encima capacidad de campo
 Ef. campo: 70 %

Fecha	Día	Etapa	Precipit.	Ks	ETA	Agot.	Lám.Neta	Déficit	Pérdida	Lam.Br.	Caudal
			mm	fracc.	%	%	mm	mm	mm	mm	l/s/ha
2 Mar	2	Ini	0.0	1.00	100	4	0.0	1.9	0.0	0.1	0.00
4 Mar	4	Ini	0.0	1.00	100	4	0.0	1.9	0.0	0.1	0.00
5 Mar	5	Ini	0.0	1.00	100	6	1.0	1.9	0.0	1.4	0.16
6 Mar	6	Ini	0.0	1.00	100	6	1.0	1.9	0.0	1.4	0.16
8 Mar	8	Ini	0.0	1.00	100	4	0.0	1.9	0.0	0.1	0.00
9 Mar	9	Ini	0.0	1.00	100	6	1.0	1.9	0.0	1.4	0.16
10 Mar	10	Ini	0.0	1.00	100	6	1.0	1.9	0.0	1.4	0.16
11 Mar	11	Ini	0.0	1.00	100	6	1.0	1.9	0.0	1.4	0.16
12 Mar	12	Ini	0.0	1.00	100	6	1.0	1.9	0.0	1.4	0.16
14 Mar	14	Ini	0.0	1.00	100	4	0.1	1.9	0.0	0.1	0.01
15 Mar	15	Ini	0.0	1.00	100	6	1.0	1.9	0.0	1.4	0.16
16 Mar	16	Ini	0.0	1.00	100	6	1.0	1.9	0.0	1.4	0.16
18 Mar	18	Ini	0.0	1.00	100	4	0.1	1.9	0.0	0.1	0.01

Fuente: CROPWAT - Autor

Módulo de Consumo Cuenca Embalse del Sisga Cultivo de Cebada: Las necesidades de riego y el valor del módulo (l/s/ha), el programa lo muestra con una frecuencia diaria (ver **Ilustración 27**), por lo tanto el informe total de la programación para este cultivo se adjunta como anexo.

Tomando los valores diarios, y promediándolos para los dos periodos de siembra el valor del módulo para el cultivo de Cebada en la cuenca Embalse del Sisga los resultados del CROPWAT, es de **0.16 l/s/ha** (ver anexo).

Ilustración 27. Programación de Riego para el cultivo de Cebada, en la cuenca Embalse Sisga

Fecha	Día	Etapa	Precipit.	Ks	ETa	Agot.	Lám. Neta	Déficit	Pérdida	Lam.Br.	Caudal
			mm	fracc.	%	%	mm	mm	mm	mm	l/s/ha
6 Mar	3	Ini	0.0	1.00	100	2	0.4	2.2	0.0	0.6	0.02
9 Mar	6	Ini	0.0	1.00	100	2	0.4	2.2	0.0	0.6	0.02
10 Mar	7	Ini	0.0	1.00	100	3	0.9	2.2	0.0	1.2	0.14
11 Mar	8	Ini	0.0	1.00	100	3	0.9	2.2	0.0	1.2	0.14
12 Mar	9	Ini	0.0	1.00	100	3	0.9	2.2	0.0	1.2	0.14
15 Mar	12	Ini	0.0	1.00	100	2	0.4	2.2	0.0	0.6	0.02
16 Mar	13	Ini	0.0	1.00	100	3	0.9	2.2	0.0	1.2	0.14
19 Mar	16	Des	0.0	1.00	100	2	0.2	2.4	0.0	0.3	0.01
20 Mar	17	Des	0.0	1.00	100	3	0.7	2.6	0.0	0.9	0.11
21 Mar	18	Des	0.0	1.00	100	4	1.1	2.8	0.0	1.5	0.18
22 Mar	19	Des	0.0	1.00	100	4	1.1	3.0	0.0	1.5	0.18
25 Mar	22	Des	0.0	1.00	100	4	0.2	3.7	0.0	0.3	0.01
26 Mar	23	Des	0.0	1.00	100	5	1.1	3.9	0.0	1.5	0.18
30 Mar	27	Des	0.0	1.00	100	5	0.4	4.8	0.0	0.6	0.02
31 Mar	28	Des	0.0	1.00	100	6	1.1	5.0	0.0	1.5	0.18

Fuente: CROPWAT - Autor

Módulo de Consumo Cuenca Embalse de Tominé Cultivo de Hortalizas: Las necesidades de riego y el valor del módulo (l/s/ha), el programa lo muestra con una frecuencia diaria (ver **Ilustración 27**), por lo tanto el informe total de la programación para este cultivo se adjunta como anexo.

Tomando los valores diarios, y promediándolos para los dos periodos de siembra el valor del módulo para el cultivo de Hortalizas en la cuenca Embalse de Tominé los resultados del CROPWAT, es de **0.19 l/s/ha** (ver anexo).

Ilustración 28. Programación de Riego para el cultivo de Hortalizas, en la cuenca Embalse Tominé

Fecha	Día	Etapa	Precipit.	Ks	ETa	Agot.	Lám. Neta	Déficit	Pérdida	Lam.Br.	Caudal
			mm	fracc.	%	%	mm	mm	mm	mm	l/s/ha
2 Nov	2	Ini	0.0	1.00	100	5	1.2	2.3	0.0	1.7	0.10
4 Nov	4	Ini	0.0	1.00	100	5	1.2	2.3	0.0	1.7	0.10
5 Nov	5	Ini	0.0	1.00	100	5	1.8	2.3	0.0	2.5	0.29
6 Nov	6	Ini	0.0	1.00	100	5	1.8	2.3	0.0	2.5	0.29
8 Nov	8	Ini	0.0	1.00	100	5	1.2	2.3	0.0	1.7	0.10
9 Nov	9	Ini	0.0	1.00	100	5	1.8	2.3	0.0	2.5	0.29
10 Nov	10	Ini	0.0	1.00	100	5	1.8	2.3	0.0	2.5	0.29
11 Nov	11	Ini	0.0	1.00	100	5	1.8	2.3	0.0	2.5	0.29
12 Nov	12	Ini	0.0	1.00	100	5	1.8	2.3	0.0	2.5	0.29
14 Nov	14	Ini	0.0	1.00	100	5	1.2	2.3	0.0	1.7	0.10
15 Nov	15	Ini	0.0	1.00	100	5	1.8	2.3	0.0	2.5	0.29
16 Nov	16	Ini	0.0	1.00	100	5	1.8	2.3	0.0	2.5	0.29
18 Nov	18	Ini	0.0	1.00	100	5	1.2	2.3	0.0	1.7	0.10
19 Nov	19	Ini	0.0	1.00	100	5	1.8	2.3	0.0	2.5	0.29
20 Nov	20	Ini	0.0	1.00	100	5	1.8	2.3	0.0	2.5	0.29

Fuente: CROPWAT - Autor

Módulo de Consumo Cuenca Río Neusa Cultivo de Durazno: Las necesidades de riego y el valor del módulo (l/s/ha), el programa lo muestra con una frecuencia diaria (ver **Ilustración 29**), por lo tanto el informe total de la programación para este cultivo se adjunta como anexo.

Tomando los valores diarios, y promediándolos para los dos periodos de siembra el valor del módulo para el cultivo de Durazno en la cuenca Río Neusa los resultados del CROPWAT, es de **0.19 l/s/ha** (ver anexo).

Ilustración 29. Programación de Riego para el cultivo de Durazno, en la cuenca Rio Neusa

Programación de riego de cultivo

ETo estación: Cultivo: Siembra: Red. Rend.:

Est. de lluvia: Suelo: Cosecha:

Formato de Tabla:
 Program. de riego
 Bal. diario de agua de suelo

Momento: [Regar bajo o sobre agotamiento crítico](#)
 Aplicación: [Reponer agua debajo / encima capacidad de campo](#)
 Ef. campo: 70 %

Fecha	Día	Etap	Precipit.	Ks	ETa	Agot.	Lám.Neta	Déficit	Pérdida	Lam.Br.	Caudal
			mm	fracc.	%	%	mm	mm	mm	mm	l/s/ha
6 May	2	Ini	0.0	1.00	100	2	0.1	2.5	0.0	0.1	0.01
8 May	4	Ini	0.0	1.00	100	2	0.1	2.5	0.0	0.1	0.01
9 May	5	Ini	0.0	1.00	100	3	1.3	2.5	0.0	1.8	0.21
10 May	6	Ini	0.0	1.00	100	3	1.3	2.5	0.0	1.8	0.21
11 May	7	Ini	0.0	1.00	100	3	1.3	2.5	0.0	1.8	0.21
12 May	8	Ini	0.0	1.00	100	3	1.3	2.5	0.0	1.8	0.21
14 May	10	Ini	0.0	1.00	100	2	0.0	2.5	0.0	0.1	0.00
15 May	11	Ini	0.0	1.00	100	3	1.3	2.5	0.0	1.8	0.21
16 May	12	Ini	0.0	1.00	100	3	1.3	2.5	0.0	1.8	0.21
18 May	14	Ini	0.0	1.00	100	2	0.0	2.5	0.0	0.1	0.00

Fuente: CROPWAT - Autor

Módulo de Consumo Cuenca Río Negro Cultivo de Legumbres: Las necesidades de riego y el valor del módulo (l/s/ha), el programa lo muestra con una frecuencia diaria (ver *Ilustración 30*), por lo tanto el informe total de la programación para este cultivo se adjunta como anexo.

Tomando los valores diarios, y promediándolos para los dos periodos de siembra el valor del módulo para el cultivo de Legumbres en la cuenca Río Negro los resultados del CROPWAT, es de **0.11 l/s/ha** (ver anexo).

Ilustración 30. Programación de Riego para el cultivo de Legumbres, en la cuenca Rio Negro

Programación de riego de cultivo													
ETo estación		PANTANO REDONDO		Cultivo		Legumbres		Siembra		01/01		Red. Rend.	
Est. de lluvia		PANTANO REDONDO		Suelo		Arcilloso		Cosecha		31/03		0.0 %	
Formato de Tabla				Momento: Regar bajo o sobre agotamiento crítico Aplicación: Reponer agua debajo / encima capacidad de campo Ef. campo 70 %									
<input checked="" type="radio"/> Program. de riego <input type="radio"/> Bal. diario de agua de suelo													
Fecha	Día	Etapa	Precipit.	Ks	ETa	Agot.	Lám.Neta	Déficit	Pérdida	Lam.Br.	Caudal		
			mm	fracc.	%	%	mm	mm	mm	mm	l/s/ha		
2 Feb	33	Des	0.0	1.00	100	8	0.8	8.2	0.0	1.2	0.00		
11 Feb	42	Des	0.0	1.00	100	7	2.1	6.8	0.0	3.0	0.04		
12 Feb	43	Des	0.0	1.00	100	7	2.4	6.6	0.0	3.4	0.39		
15 Feb	46	Des	0.0	1.00	100	5	0.5	6.1	0.0	0.7	0.03		
16 Feb	47	Des	0.0	1.00	100	6	2.4	5.9	0.0	3.4	0.39		
19 Feb	50	Des	0.0	1.00	100	5	1.2	5.3	0.0	1.7	0.07		
20 Feb	51	Med	0.0	1.00	100	6	2.2	5.3	0.0	3.1	0.36		
21 Feb	52	Med	0.0	1.00	100	6	2.4	5.3	0.0	3.4	0.39		

Fuente: CROPWAT - Autor

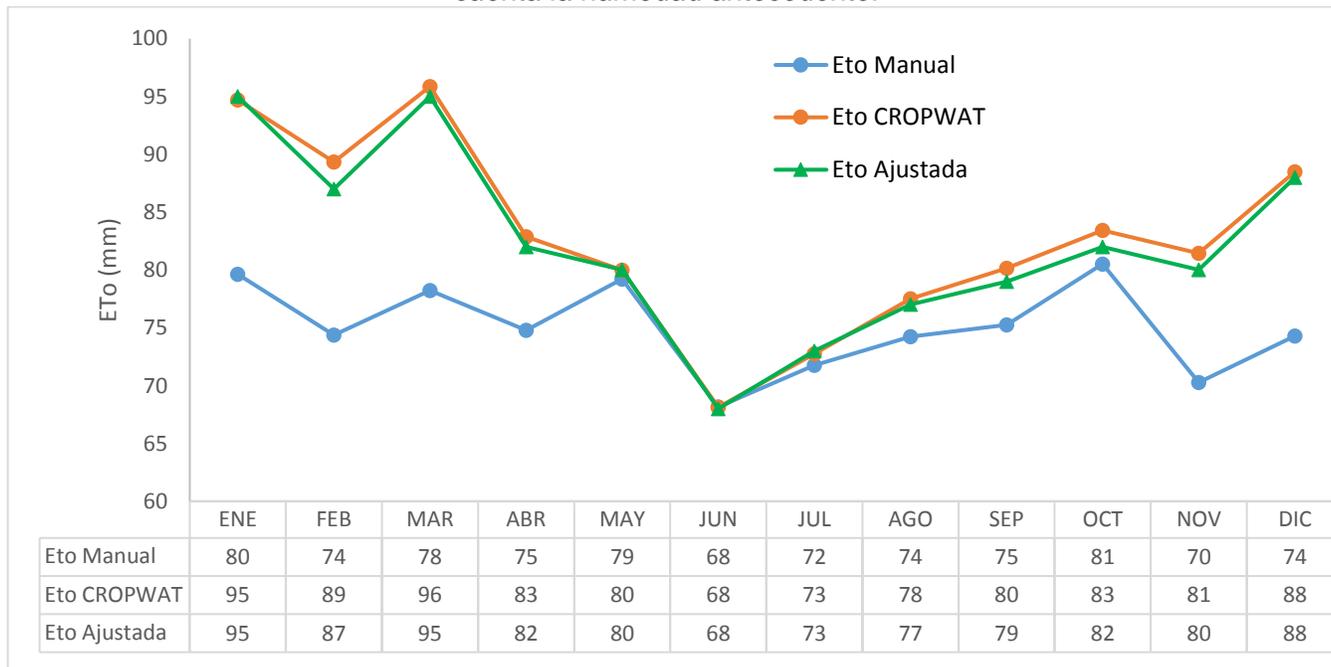
6 ANÁLISIS GENERAL DE LOS RESULTADOS

A continuación se realiza un análisis de los resultados obtenidos en el capítulo anterior, esto para observar el comportamiento de la Evapotranspiración Potencial en las seis cuencas de tercer orden que conforman la cuenca alta del río Bogotá, haciendo un estudio general de las variables climáticas relacionadas en la determinación de la ETo. Igualmente se analiza el consumo hídrico de un cultivo representativo en la cuenca objeto de estudio.

6.1 Ajuste de la Evapotranspiración Potencial – Calculada

Analizando los resultados de la ETo obtenidos manualmente, se observa una diferencia con respecto al calculado con el software CROPWAT, lo anterior teniendo en cuenta que para el cálculo manual, no se consideró la humedad antecedente para cada mes. Con el fin de corregir este error se realizó un ejercicio para la subcuenca de Tercer Orden Alto Bogotá, donde se tomó el valor inicial (enero: 95 mm) de la ETo determinada por el CROPWAT, y se reemplazó en el cálculo manual, haciendo que el balance hídrico sea más ajustado a la realidad como se muestra en la línea verde de la **Gráfica 25**.

Gráfica 25. Ajuste de la ETo para la subcuenca Alto Bogotá (Cód. 2120-19), teniendo en cuenta la humedad antecedente.



Fuente: CROPWAT - Autor

6.2 Régimen Hídrico de las 6 cuencas de tercer orden que conforman la Cuenca Alta de Río Bogotá.

Alto Bogotá (Cód. 212019). En la cuenca de tercer orden Alto Bogotá, los valores medios mensuales de la precipitación presentan una distribución de tipo unimodal, observándose los valores más bajos en los meses de diciembre, enero y febrero, siendo enero el que presenta el menor registro, con un valor de 17,6mm. Los valores más altos se presentan en los meses de mayo, junio y julio, siendo el mes con mayor registro julio, con un valor de 144,3mm. El valor promedio anual de la precipitación es de 78mm, y es posible anotar que al año en promedio en la cuenca Alto Bogotá recibe alrededor de 937 mm de precipitación bruta, de los cuales 759,2mm se convierte en precipitación efectiva.

Sector Sisga - Tibitoc (Cód. 212016). En la cuenca de tercer orden Sector Sisga - Tibitoc, los valores medios mensuales de la precipitación presentan una distribución de tipo unimodal, observándose los valores más bajos en los meses de diciembre, enero y febrero, siendo enero el que presenta el menor registro, con un valor de 31,6mm. Los valores más altos se presentan en los meses de abril, mayo y julio, siendo mayo el mes con mayor registro, con un valor de 100,4mm. El valor promedio anual de la precipitación es de 71mm, y en promedio al año la cuenca Sector Sisga – Tibitoc recibe alrededor de 847mm de precipitación bruta, de los cuales 567,7mm constituyen la precipitación efectiva.

Embalse del Sisga (Cód. 212018). En la cuenca de tercer orden Embalse del Sisga, los valores medios mensuales de la precipitación presentan una distribución de tipo unimodal, observándose los valores más bajos en los meses de diciembre, enero y febrero, siendo enero el que presenta el menor registro, con un valor de 15,4mm. Los valores más altos se presentan en los meses de mayo, junio y julio, siendo junio el mes con mayor registro, con un valor de 117mm. El valor promedio anual de la precipitación es de 68,2mm, y es posible establecer que al año en promedio en la cuenca Embalse del Sisga recibe alrededor de 818,6mm de precipitación bruta, de los cuales 502,4mm se convierte en precipitación efectiva.

Gráfica 26. Cuencas con régimen hídrico unimodal



Fuente: Autor

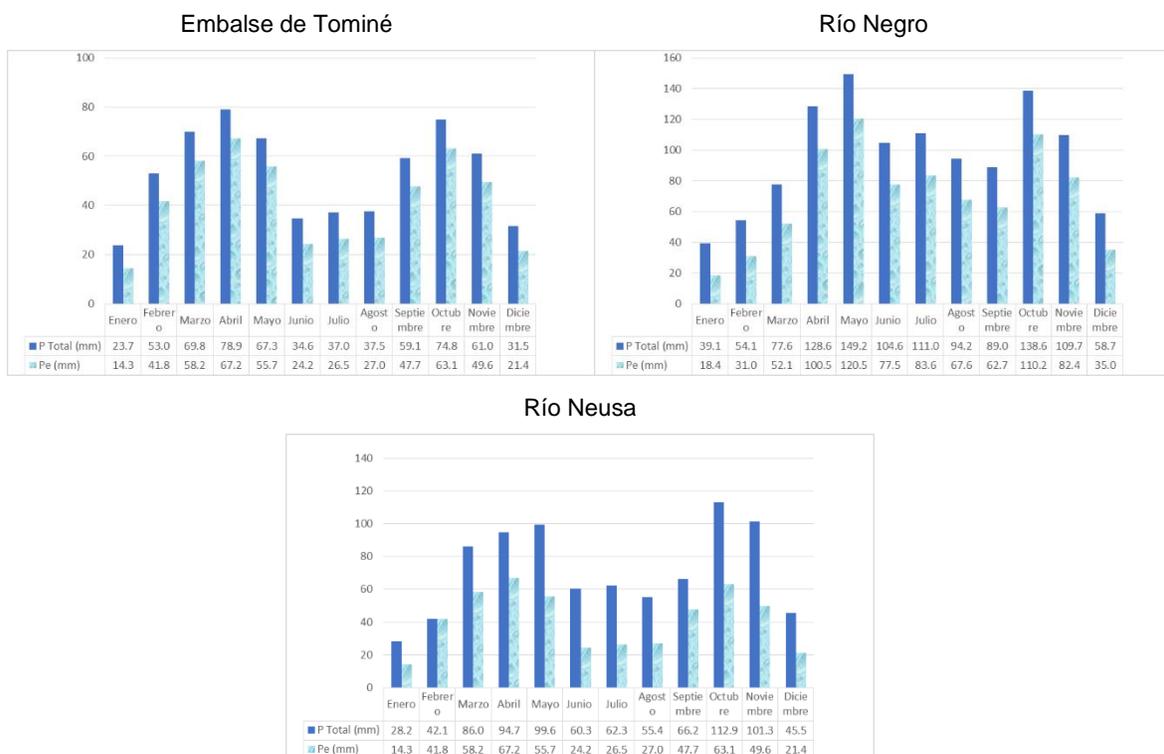
Embalse Tominé (Cód. 212017). En la cuenca de tercer orden Embalse de Tominé, los valores medios mensuales de la precipitación presentan una distribución de tipo bimodal, observándose los valores más bajos en los meses de diciembre, enero, junio, julio y agosto, siendo enero el que presenta el menor registro, con un valor de 23,7mm. Los valores más altos se presentan en los meses de abril y octubre, siendo el mes con mayor registro abril, con un valor de 78,9mm. El valor promedio anual de la precipitación es de 52mm, y se puede decir que al año en promedio en la cuenca Embalse de Tominé recibe alrededor de 628mm de precipitación bruta, de los cuales 496,7mm corresponden a precipitación efectiva.

Río Negro (Cód. 212014). En la cuenca de tercer orden Río Negro, los valores medios mensuales de la precipitación presentan una distribución de tipo bimodal, observándose los valores más bajos en los meses de diciembre, enero y febrero, siendo enero el que presenta el menor registro, con un valor de 39,1mm. Los valores más altos se presentan en los meses

de abril, mayo, octubre y noviembre, siendo el mes con mayor registro mayo, con un valor de 149,2mm. El valor promedio anual de la precipitación es de 96mm, y es preciso aseverar que al año en promedio en la cuenca río Negro recibe alrededor de 1.154mm de precipitación bruta, de los cuales 841,7mm corresponden a precipitación efectiva.

Río Neusa (Cód. 212015). En la cuenca de tercer orden Río Neusa, los valores medios mensuales de la precipitación presentan una distribución de tipo bimodal, observándose los valores más bajos en los meses de diciembre, enero y febrero, siendo enero el que presenta el menor registro, con un valor de 28,2mm. Los valores más altos se presentan en los meses de abril, mayo, octubre y noviembre, siendo el mes con mayor registro octubre, con un valor de 112,9mm. El valor promedio anual de la precipitación es de 71mm, y se puede concluir que al año en promedio en la cuenca Río Neusa recibe alrededor de 854mm de precipitación bruta, de los cuales 577mm se convierte en precipitación efectiva.

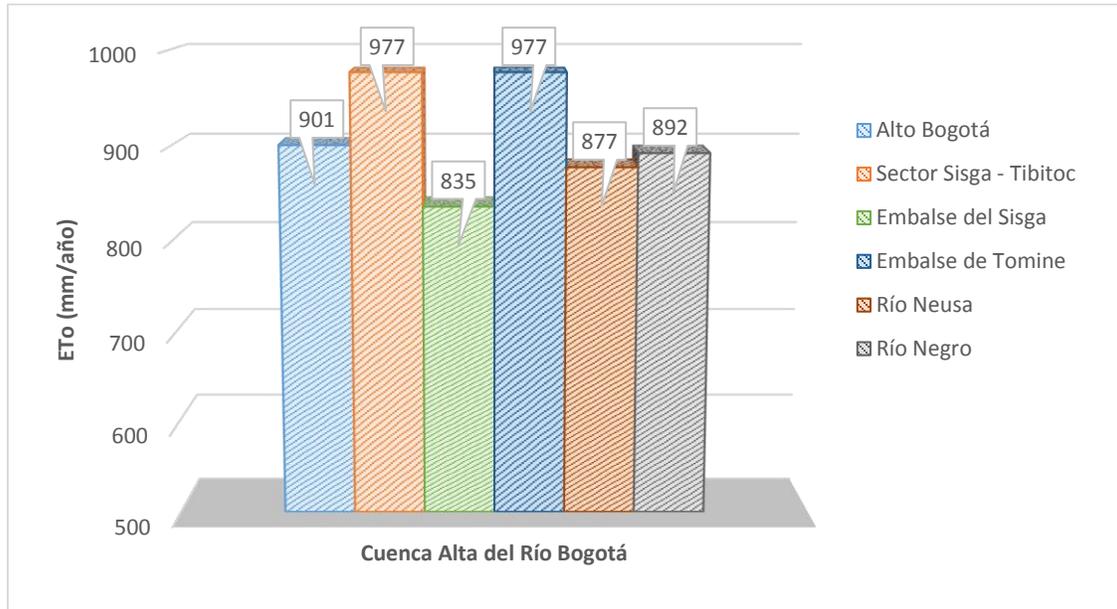
Gráfica 27. Cuencas con régimen hídrico bimodal



Fuente: Autor

6.3 Comportamiento de la Evapotranspiración Potencial, en la cuenca alta del río Bogotá

Gráfica 28. Evapotranspiración Potencial acumulada en la cuenca alta de río Bogotá

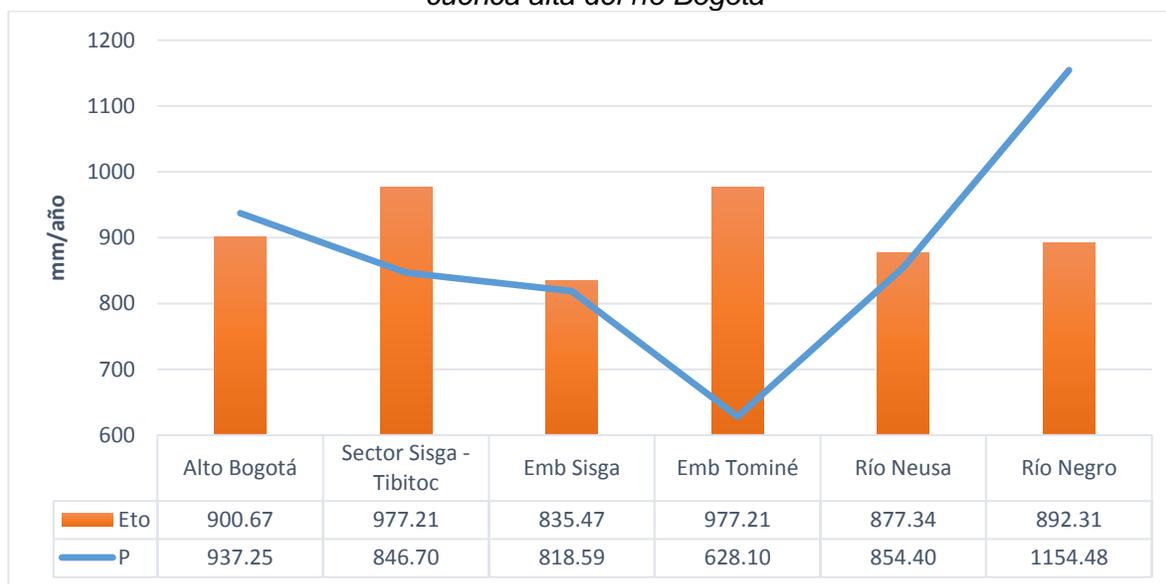


Fuente: CROPWAT - Autor

En la **Gráfica 28** se puede observar que las cuencas que presentan la Evapotranspiración Potencial más alta, son las cuencas de Sector Sisga – Tibitoc y Embalse de Tominé, con una ETo anual acumulada de 977 mm/año, por otra parte se evidencia que la cuenca del Embalse del Sisga presenta el menor valor de ETo anual acumulada con un valor de 835 mm/año.

Las cuencas que presentan déficit hídrico puesto que la Evapotranspiración Potencial es mayor que la Precipitación, son las de Sector Sisga – Tibitoc, Embalse del Sisga, Embalse de Tominé y Río Neusa, siendo Embalse de Tominé la que presenta el agotamiento más crítico la cuenca con una ETo de 977,21mm/año y una Precipitación de 528,10mm/año; alcanzando un déficit hídrico de 349,11 milímetros al año, como se puede observar en la **Gráfica 29**.

Gráfica 29. Excesos y/o déficit hídrico, para las diferentes cuencas que conforman la cuenca alta del río Bogotá



Fuente: Autor

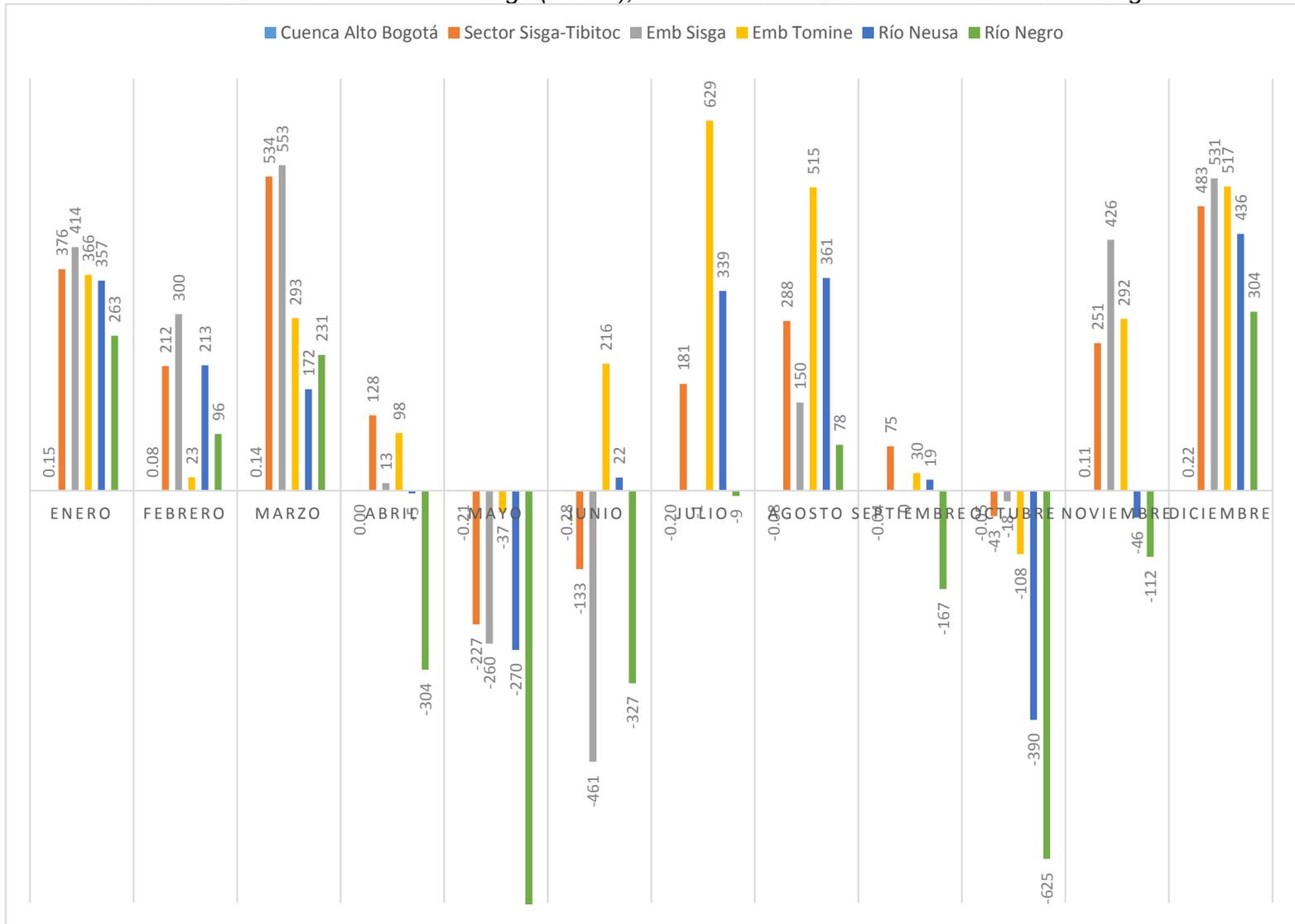
Según la **Gráfica 29**, las cuencas Alto Bogotá y Río Negro son las que presentan un exceso hídrico, teniendo en cuenta que la Precipitación es mayor que la Evapotranspiración Potencial, siendo Río Negro la que presenta mayor exceso, con un valor de 262,17mm/año.

En general para la Cuenca Alta del Río Bogotá, se puede evidenciar que el valor total aproximado de la Evapotranspiración Potencial (ETo), es de 5.460,17mm/año, en un área total de 1.550,91 Km². La Precipitación total de la cuenca es de aproximadamente 5.239,53 mm/año, por lo que en la cuenca se presenta un déficit hídrico de alrededor de 220,69 mm/año, el cual debe ser suplido mediante algún sistema de riego para los diferentes cultivos sembrados.

6.4 Análisis de los requerimientos hídricos de los cultivos priorizados para la cuenca alta del Río Bogotá

En el siguiente capítulo, se amplía el análisis del requerimiento hídrico para el cultivo de Hortalizas, el cual es representativo en las 6 subcuencas que conforman la cuenca Alta del Río Bogotá, y sirve como ejemplo para el análisis de resultados. Las demás Gráficas de los diferentes cultivos, se adjuntan como anexos al presente trabajo.

Gráfica 30. Necesidad Neta de Riego (m3/Ha), cultivo de Hortalizas - Cuenca Alta del Río Bogotá



En la **Gráfica 30** se puede observar que Embalse de Tominé en el mes de julio, es la cuenca que necesita más riego para el cultivo de hortalizas, llegando a una necesidad neta de 629 m³/Ha; por el contrario en los meses mayo y octubre, no hay necesidad de utilizar riego debido a que la precipitación de la zona suple las necesidades de riego para dicho cultivo.

Por otra parte, la gráfica anterior indica que durante diez meses del año el cultivo de hortalizas requiere la aplicación de una lámina de riego para suplir las necesidades causadas por la alta ETo, que como anteriormente se nombraba, durante todo el año llega alcanzar aproximadamente los 977.21 mm; esto debido a que la cuenca del Embalse de Tominé presenta un régimen hídrico bimodal, y en los meses de enero, junio, julio, agosto y diciembre, la precipitación de la zona es insuficiente para suplir los requerimientos de riego del cultivo.

Para determinar el módulo de consumo, se convirtieron las necesidades netas de riego (N.R) reportadas en m³/ha, a l/s/ha como se muestra en el capítulo 4.9.1 (ver **Tabla 45. N.R Cultivo de Hortalizas Cuenca Embalse de Tominé**); allí se planteó sumar los módulos mensuales de los meses que requieren el empleo de un sistema de riego (color azul), y dividirlo en el número de los mismos meses; con el fin de poder determinar un único módulo de 0.11 l/s/ha. Lo anterior para el cultivo de hortalizas en la cuenca del Embalse de Tominé, y así mismo facilitar el cálculo de las concesiones de agua que deben ser otorgadas por las Corporaciones ambientales según las necesidades de sus usuarios.

En la **Tabla 63** se resumen los valores obtenidos del módulo de consumo en el cultivo de hortalizas para las 6 subcuencas que conforman la Cuenca Alta del Río Bogotá.

Tabla 63. Valor del Módulo de Consumo en el cultivo de hortalizas, para las diferentes cuencas objeto de estudio

Cuenca de Tercer Orden	Módulo de Consumo (l/s/Ha)
Alto Bogotá	0.09
Sector Sisga – Tibitoc	0.11
Embalse del Sisga	0.10
Embalse de Tominé	0.11
Río Neusa	0.07
Río Negro	0.06

Fuente: Autor

Según la **Tabla 63** las subcuencas Sector Sisga – Tibitoc y Embalse de Tominé, son las que demandan el mayor módulo de consumo para el cultivo de hortalizas, siendo un valor de 0.11 l/s/ha, debido a la elevada Evapotranspiración Potencial que se presenta en estas dos cuencas. A diferencia de la cuenca de Río Negro, que requiere el modulo más bajo con un valor de 0.06 l/s/ha.

6.5 Optimización del módulo de consumo

Con el fin de optimizar el módulo de consumo, se propone sumar los meses en que se requiere aplicar el riego y dividirlo en los doce meses que tiene el año. Lo anterior teniendo en cuenta que una concesión de agua se otorga por un periodo de 10 años, y el usuario puede hacer uso del recurso en los meses en que la precipitación suple las necesidades de riego, pudiendo almacenar el agua concesionada en reservorios que posteriormente pueden entrar en funcionamiento para suplir los meses en que se presenta el déficit hídrico, y así optimizar el recurso. A continuación se muestra un ejemplo del módulo de consumo para el cultivo de hortalizas, haciendo el uso de reservorios.

Tabla 64. Optimización del Módulo de Consumo utilizando reservorios

Cuenca de Tercer Orden	Módulo de Consumo sin la aplicación de reservorios (l/s/Ha)	Módulo de Consumo Optimizado (l/s/Ha)
Alto Bogotá	0.09	0.06
Sector Sisga – Tibitoc	0.11	0.08
Embalse del Sisga	0.10	0.08
Embalse de Tominé	0.11	0.09
Río Neusa	0.07	0.06
Río Negro	0.06	0.03

Fuente: Autor

En la tabla anterior se muestra cómo se puede disminuir el modulo del consumo hídrico, poniendo en práctica el uso de reservorios, para posteriormente utilizar el agua almacenada en los meses que se presenta el déficit hídrico y se presente la necesidad de utilizar un sistema de riego en los cultivos.

7 CONCLUSIONES

Tras evaluar el régimen hídrico de la cuenca alta del Río Bogotá, es posible concluir que las cuencas Alto Bogotá, Sector Sisga – Tibitoc y Embalse del Sisga, presenta un régimen hídrico unimodal, alcanzando los picos más altos en los meses de mayo, junio y julio, con valores máximos de precipitación que oscilan entre 100 y 144 milímetros mensuales. Del mismo modo, se evidencia que las cuencas Embalse de Tominé, Río Negro y Río Neusa, revelan un régimen hídrico bimodal, con los picos más altos en los meses de abril, mayo y octubre, reportando valores máximos de precipitación que oscilan entre 79 y 149 milímetros mensuales.

A través del cálculo de la Evapotranspiración Potencial (ET_o), utilizando la metodología Penman-Monteith propuesta por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación – FAO, fue posible determinar los requerimientos hídricos para los cultivos priorizados en la cuenca Alta del Río Bogotá, concluyendo cuales son los meses en que se requiere usar el riego para satisfacer el déficit hídrico de los cultivos, teniendo en cuenta que la ET_o aproximada de la cuenca Alta del Río Bogotá, es de 5.460,17mm/año, en un área total de 1.550,91 Km².

En general, se puede aseverar que los meses en que se presenta mayor déficit hídrico, son los meses de noviembre, diciembre, enero y febrero para las cuencas con régimen hídrico unimodal. Las cuencas con régimen hídrico bimodal, reportan el déficit hídrico en los meses de diciembre, enero, junio, julio y agosto, los valores más críticos se presentaron en la subcuenca Embalse de Tominé debido a que cuenta aproximadamente con una ET_o de 977,27 mm/año y una precipitación de 528 mm/año, alcanzando un déficit hídrico aproximado de 349,11 milímetros al año.

Con los resultados obtenidos de la aplicación del software CROPWAT, se validaron los cálculos manualmente obtenidos, reportando un leve error en el cálculo de la ET_o, el cual se pudo corregir teniendo en cuenta la humedad antecedente en el inicio del año (enero). Para los resultados del módulo de consumo el error más representativo se presentó en el

cultivo de hortalizas en la subcuenca del Embalse de Tominé, con una diferencia de 0.06 l/s/h, en lo calculado manual y los resultados del CROPWAT.

A manera de conclusión se propone la implementación de reservorios como opción para la optimización del recurso hídrico, con el fin de que los usuarios puedan utilizar el agua almacenada en los meses en que se presenta el déficit hídrico para abastecer los sistemas de riego. Lo anterior teniendo en cuenta que una concesión de agua se otorga por un periodo de diez años, y el usuario durante este tiempo puede almacenar el agua concesionada de los meses en que la precipitación satisface las necesidades hídricas de los cultivos. De esta forma las autoridades ambientales (CAR), en su función como administradoras de los recursos naturales, pueden tener un mayor control sobre el recurso, asegurando su disponibilidad y la distribución de manera equitativa, dependiendo de las necesidades específicas para cada usuario.

8 Bibliografía

- Allen, R. G., Luis S. Pereira, Dirk Raes, & Martin Smith. (Roma 2006). Evapotranspiración del Cultivo Guías para la determinación de Requerimientos de Agua de Los Cultivos. *Organización De Las Naciones Unidas Para La Agricultura (FAO)*, 17-28.
- Bateman, A. (2007). *Hidrología Basica y Aplicada*. España: Grupo de Investigacion y Transportes de Sedimentos .
- CAR. (2010). *Cuenca del Río Bogotá - Navegando hacia su recuperación* . Bogotá, D.C.: Bochica Ltda. .
- Chow, V. T. (1994). *Hidrología Aplicada*. Santafe de Bogotá: McGRAW-HILL INTERAMERICANA, S.A.
- FAO. (06 de junio de 2016). *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura - FAO*. Obtenido de http://www.fao.org/nr/water/infores_databases_cropwat.html
- Geografía, I. N. (30 de julio de 2016). *INEG*. Obtenido de <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/queesmde.aspx>
- Jaramillo Jaramillo, D. F. (2002). *Introducción a la Ciencia del Suelo*. Medellín: UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA.
- Jaramillo, J. (2012). *Drenaje Agrícola*. Palmira, Valle del Cauca: Universidad Nacional de Colombia Departamento de Ingeniería.
- Mijares, F. J. (1992). *Fundamentos de Hidrología de Superficie*. México: Limusa S.A.
- Monsalve, G. (1999). *Hidrología en la Ingeniería*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Salazar, L. (1980). *Guía para estudios de Evapotranspiración e Instalación de parcelas demostrativas con riego por superficie*. USA: Internacional Irrigation.
- Sánchez, F. J. (2010). *Calculo de la Precipitación Neta mediante el método del S.C.S.* España: Departamento de Geología, Universidad Salamanca.

Trezza, R. (03 de junio de 2016). *CROPWAT PARA WINDOWS*. Obtenido de Manual de Usuario :
http://webdelprofesor.ula.ve/nucleotrujillo/rtrezza/CROPWAT_MANUAL.pdf

Urrutia, M. A. (03 de febrero de 2016). *APLICACIÓN DEL MODELO SWAT PARA LA SIMULACIÓN DEL CICLO HIDROLÓGICO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO SAN JUAN BAJO LA INFLUENCIA DE LA ACTIVIDAD MINERA*. Bogotá D.C., Colombia: Tesis, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

Anexos

Anexo 1: Salida software CROPWAT – Modulo cultivo de papa cuenca Alto Bogotá

Fecha	Día	Etap	Agot.	Lám.Neta	Déficit	Pérdida	Lam.Br.	Caudal
			%	mm	mm	mm	mm	l/s/ha
2-Mar	2	Ini	5	0.7	2.4	0	1	0.06
4-Mar	4	Ini	5	0.6	2.5	0	0.9	0.05
5-Mar	5	Ini	6	1.5	2.5	0	2.2	0.25
6-Mar	6	Ini	6	1.5	2.5	0	2.2	0.25
8-Mar	8	Ini	5	0.6	2.6	0	0.8	0.05
9-Mar	9	Ini	6	1.5	2.6	0	2.2	0.25
10-Mar	10	Ini	6	1.5	2.6	0	2.2	0.25
11-Mar	11	Ini	6	1.5	2.6	0	2.2	0.25
12-Mar	12	Ini	6	1.5	2.7	0	2.2	0.25
14-Mar	14	Ini	5	0.4	2.7	0	0.6	0.03
15-Mar	15	Ini	6	1.5	2.7	0	2.2	0.25
16-Mar	16	Ini	6	1.5	2.7	0	2.2	0.25
18-Mar	18	Ini	4	0.3	2.8	0	0.4	0.02
19-Mar	19	Ini	6	1.5	2.8	0	2.2	0.25
20-Mar	20	Ini	6	1.5	2.8	0	2.2	0.25
21-Mar	21	Ini	6	1.6	2.9	0	2.3	0.26
22-Mar	22	Ini	6	1.6	2.9	0	2.3	0.26
24-Mar	24	Ini	4	0.3	2.9	0	0.4	0.02
25-Mar	25	Ini	6	1.6	2.9	0	2.3	0.26
26-Mar	26	Des	6	1.5	3	0	2.2	0.25
28-Mar	28	Des	4	0.1	3.2	0	0.1	0.01
29-Mar	29	Des	6	1.5	3.2	0	2.2	0.25
30-Mar	30	Des	6	1.5	3.3	0	2.2	0.25
31-Mar	31	Des	6	1.5	3.4	0	2.2	0.25
1 Abr	32	Des	7	2.1	3.5	0	3	0.34
2 Abr	33	Des	7	2.1	3.5	0	3	0.34
4 Abr	35	Des	5	0.6	3.7	0	0.8	0.05
5 Abr	36	Des	7	2.1	3.8	0	2.9	0.34
6 Abr	37	Des	7	2.1	3.8	0	2.9	0.34
8 Abr	39	Des	5	0.3	4	0	0.4	0.02
9 Abr	40	Des	8	2.1	4.1	0	2.9	0.34
10 Abr	41	Des	8	2.1	4.2	0	2.9	0.02
11 Abr	42	Des	8	2.6	4.3	0	3.7	0.34
12 Abr	43	Des	8	2.6	4.3	0	3.7	0.01
14 Abr	45	Des	6	0.8	4.5	0	1.1	0.34
15 Abr	46	Des	8	2.6	4.6	0	3.7	0.29
16 Abr	47	Des	8	2.6	4.7	0	3.7	0.29

Fecha	Día	Etap	Agot.	Lám.Neta	Déficit	Pérdida	Lam.Br.	Caudal
18 Abr	49	Des	6	0.4	4.9	0	0.6	0.04
19 Abr	50	Des	9	2.6	4.9	0	3.7	0.01
20 Abr	51	Des	9	2.6	5	0	3.7	0.01
21 Abr	52	Des	9	3	5.1	0	4.2	0.21
22 Abr	53	Des	9	3	5.2	0	4.2	0.21
24 Abr	55	Des	7	0.7	5.4	0	1	0.06
25 Abr	56	Med	9	3	5.4	0	4.4	0.5
26 Abr	57	Med	9	3	5.4	0	4.4	0.5
28 Abr	59	Med	7	0.7	5.4	0	1	0.06
29 Abr	60	Med	9	3	5.4	0	4.4	0.5
30 Abr	61	Med	9	3	5.4	0	4.4	0.5
1-May	62	Med	9	3	5.4	0	4.3	0.5
2-May	63	Med	9	3	5.4	0	4.3	0.5
4-May	65	Med	7	0.6	5.4	0	0.9	0.05
5-May	66	Med	9	3	5.4	0	4.3	0.5
6-May	67	Med	9	3	5.4	0	4.3	0.5
8-May	69	Med	7	0.6	5.4	0	0.9	0.05
9-May	70	Med	9	3	5.4	0	4.3	0.5
10-May	71	Med	9	3	5.4	0	4.3	0.5
11-May	72	Med	9	2.9	5.4	0	4.2	0.49
12-May	73	Med	9	2.9	5.4	0	4.2	0.49
14-May	75	Med	7	0.5	5.4	0	0.7	0.04
15-May	76	Med	9	2.9	5.4	0	4.2	0.49
16-May	77	Med	9	2.9	5.4	0	4.2	0.49
18-May	79	Med	7	0.5	5.4	0	0.7	0.04
19-May	80	Med	9	2.9	5.4	0	4.2	0.49
20-May	81	Med	9	2.9	5.4	0	4.2	0.49
21-May	82	Med	9	2.8	5.4	0	4	0.47
22-May	83	Med	9	2.8	5.4	0	4	0.47
24-May	85	Med	6	0.3	5.4	0	0.4	0.02
25-May	86	Med	9	2.8	5.4	0	4	0.47
26-May	87	Med	9	2.8	5.4	0	4	0.47
28-May	89	Med	6	0.3	5.4	0	0.4	0.02
29-May	90	Med	9	2.8	5.4	0	4	0.47
30-May	91	Med	9	2.8	5.4	0	4	0.47
31-May	92	Med	9	2.8	5.4	0	4	0.47
1-Jun	93	Med	9	2.7	5.4	0	3.9	0.45
2-Jun	94	Med	9	2.7	5.4	0	3.9	0.45
5-Jun	97	Med	9	2.7	5.4	0	3.8	0.15
6-Jun	98	Med	9	2.7	5.4	0	3.9	0.45
9-Jun	101	Fin	9	2.7	5.4	0	3.8	0.15

Fecha	Día	Etap	Agot.	Lám.Neta	Déficit	Pérdida	Lam.Br.	Caudal
10-Jun	102	Fin	9	2.7	5.5	0	3.8	0.44
11-Jun	103	Fin	9	2.3	5.5	0	3.3	0.38
12-Jun	104	Fin	9	2.3	5.5	0	3.3	0.38
15-Jun	107	Fin	8	1.5	5.6	0	2.1	0.08
16-Jun	108	Fin	9	2.3	5.6	0	3.3	0.38
19-Jun	111	Fin	8	1.3	5.7	0	1.9	0.07
20-Jun	112	Fin	9	2.3	5.8	0	3.3	0.38
21-Jun	113	Fin	9	2	5.8	0	2.9	0.34
22-Jun	114	Fin	9	2	5.8	0	2.9	0.34
25-Jun	117	Fin	7	0.3	5.9	0	0.4	0.25
26-Jun	118	Fin	9	2	5.9	0	2.9	0.25
29-Jun	121	Fin	7	0.2	6	0	0.3	0.03
30-Jun	122	Fin	9	2	6.1	0	2.9	0.25
1-Jul	123	Fin	9	1.8	6.1	0	2.5	0.25
2-Jul	124	Fin	9	1.8	6.1	0	2.5	0.02
6-Jul	128	Fin	8	1	6.2	0	1.4	0.25
2-Sep	2	Ini	4	0.2	2.4	0	0.2	0.25
4-Sep	4	Ini	4	0.1	2.5	0	0.2	0.26
5-Sep	5	Ini	6	1.3	2.5	0	1.8	0.26
6-Sep	6	Ini	6	1.3	2.5	0	1.8	0.02
8-Sep	8	Ini	4	0	2.6	0	0.1	0
9-Sep	9	Ini	6	1.3	2.6	0	1.8	0.21
10-Sep	10	Ini	6	1.3	2.6	0	1.8	0.21
11-Sep	11	Ini	6	1.3	2.6	0	1.9	0.22
12-Sep	12	Ini	6	1.3	2.7	0	1.9	0.22
15-Sep	15	Ini	6	1.3	2.7	0	1.8	0.07
16-Sep	16	Ini	6	1.3	2.7	0	1.9	0.22
19-Sep	19	Ini	6	1.2	2.8	0	1.7	0.07
20-Sep	20	Ini	6	1.3	2.8	0	1.9	0.22
21-Sep	21	Ini	6	1.4	2.9	0	2	0.23
22-Sep	22	Ini	6	1.4	2.9	0	2	0.23
25-Sep	25	Ini	6	1.3	2.9	0	1.9	0.07
26-Sep	26	Des	6	1.4	3	0	1.9	0.22
29-Sep	29	Des	6	1	3.2	0	1.5	0.06
30-Sep	30	Des	6	1.4	3.3	0	1.9	0.22
1-Oct	31	Des	7	1.9	3.4	0	2.7	0.31
2-Oct	32	Des	7	1.9	3.5	0	2.7	0.31
4-Oct	34	Des	5	0.3	3.6	0	0.4	0.02
5-Oct	35	Des	7	1.9	3.7	0	2.7	0.31
6-Oct	36	Des	7	1.9	3.8	0	2.7	0.31
9-Oct	39	Des	7	1.8	4	0	2.6	0.1

Fecha	Día	Etap	Agot.	Lám.Neta	Déficit	Pérdida	Lam.Br.	Caudal
10-Oct	40	Des	7	1.9	4.1	0	2.7	0.31
11-Oct	41	Des	8	2.4	4.2	0	3.5	0.05
12-Oct	42	Des	8	2.4	4.3	0	3.5	0.25
14-Oct	44	Des	6	0.6	4.4	0	0.9	0.25
15-Oct	45	Des	8	2.4	4.5	0	3.5	0.05
16-Oct	46	Des	8	2.4	4.6	0	3.5	0.25
18-Oct	48	Des	6	0.3	4.8	0	0.4	0.25
19-Oct	49	Des	8	2.4	4.9	0	3.5	0.25
20-Oct	50	Des	8	2.4	4.9	0	3.5	0.25
21-Oct	51	Des	9	2.9	5	0	4.2	0.03
22-Oct	52	Des	9	2.9	5.1	0	4.2	0.25
24-Oct	54	Des	7	0.7	5.3	0	1.1	0.25
25-Oct	55	Des	9	2.9	5.4	0	4.2	0.02
26-Oct	56	Med	9	3	5.4	0	4.3	0.25
28-Oct	58	Med	7	0.6	5.4	0	0.9	0.25
29-Oct	59	Med	9	3	5.4	0	4.3	0.26
30-Oct	60	Med	9	3	5.4	0	4.3	0.26
31-Oct	61	Med	9	3	5.4	0	4.3	0.02
1-Nov	62	Med	9	3.1	5.4	0	4.4	0.26
2-Nov	63	Med	9	3.1	5.4	0	4.4	0.25
4-Nov	65	Med	7	0.8	5.4	0	1.1	0.01
5-Nov	66	Med	9	3.1	5.4	0	4.4	0.25
6-Nov	67	Med	9	3.1	5.4	0	4.4	0.25
8-Nov	69	Med	7	0.8	5.4	0	1.1	0.25
9-Nov	70	Med	9	3.1	5.4	0	4.4	0.34
10-Nov	71	Med	9	3.1	5.4	0	4.4	0.34
11-Nov	72	Med	9	3.1	5.4	0	4.4	0.05
12-Nov	73	Med	9	3.1	5.4	0	4.4	0.34
14-Nov	75	Med	7	0.8	5.4	0	1.1	0.34
15-Nov	76	Med	9	3.1	5.4	0	4.4	0.02
16-Nov	77	Med	9	3.1	5.4	0	4.4	0.06
18-Nov	79	Med	7	0.8	5.4	0	1.1	0.05
19-Nov	80	Med	9	3.1	5.4	0	4.4	0.25
20-Nov	81	Med	9	3.1	5.4	0	4.4	0.25
21-Nov	82	Med	9	3.1	5.4	0	4.5	0.05
22-Nov	83	Med	9	3.1	5.4	0	4.5	0.25
24-Nov	85	Med	7	0.9	5.4	0	1.3	0.25
25-Nov	86	Med	9	3.1	5.4	0	4.5	0.25
26-Nov	87	Med	9	3.1	5.4	0	4.5	0.25
28-Nov	89	Med	7	0.9	5.4	0	1.3	0.03
29-Nov	90	Med	9	3.1	5.4	0	4.5	0.25

Fecha	Día	Etapas	Agot.	Lám.Neta	Déficit	Pérdida	Lam.Br.	Caudal
30-Nov	91	Med	9	3.1	5.4	0	4.5	0.25
1 Dic	92	Med	10	3.2	5.4	0	4.6	0.02
2 Dic	93	Med	10	3.2	5.4	0	4.6	0.25
4 Dic	95	Med	7	1	5.4	0	1.4	0.25
5 Dic	96	Med	10	3.2	5.4	0	4.6	0.26
6 Dic	97	Med	10	3.2	5.4	0	4.6	0.26
8 Dic	99	Med	7	1	5.4	0	1.4	0.02
9 Dic	100	Med	10	3.2	5.4	0	4.6	0.26
10 Dic	101	Fin	10	3.2	5.4	0	4.5	0.25
11 Dic	102	Fin	9	3	5.5	0	4.3	0.01
12 Dic	103	Fin	9	3	5.5	0	4.3	0.25
14 Dic	105	Fin	9	2.6	5.5	0	3.7	0.25
15 Dic	106	Fin	10	3	5.6	0	4.3	0.25
16 Dic	107	Fin	10	3	5.6	0	4.3	0.49
18 Dic	109	Fin	9	2.6	5.7	0	3.7	0.21
19 Dic	110	Fin	10	3	5.7	0	4.3	0.49
20 Dic	111	Fin	10	3	5.7	0	4.3	0.49
21 Dic	112	Fin	9	2.7	5.8	0	3.8	0.44
22 Dic	113	Fin	9	2.7	5.8	0	3.8	0.44
24 Dic	115	Fin	9	2.1	5.8	0	2.9	0.17
25 Dic	116	Fin	9	2.7	5.9	0	3.8	0.44
26 Dic	117	Fin	10	2.7	5.9	0	3.8	0.44
28 Dic	119	Fin	9	2.1	6	0	2.9	0.17
29 Dic	120	Fin	10	2.7	6	0	3.8	0.44
30 Dic	121	Fin	10	2.7	6	0	3.8	0.44
31 Dic	122	Fin	10	2.7	6.1	0	3.8	0.44
1 Ene	123	Fin	9	2.3	6.1	0	3.4	0.39
2 Ene	124	Fin	9	2.3	6.1	0	3.4	0.39
4 Ene	126	Fin	9	1.8	6.2	0	2.6	0.15
5 Ene	127	Fin	10	2.3	6.2	0	3.4	0.39
6 Ene	128	Fin	10	2.3	6.2	0	3.4	0.39
8 Ene	Fin	Fin	6					
Valor del Módulo (l/s/ha)								0.25

Anexo 2: Salida software CROPWAT – Modulo cultivo de maíz (choclo) cuenca Sector Sisga - Tibitoc

Fecha	Día	Etapas	Agot.	Lám.Neta	Déficit	Pérdida	Lam.Br.	Caudal
			%	mm	mm	mm	mm	l/s/ha
2-Mar	2	Ini	4	0	1.9	0	0.1	0
4-Mar	4	Ini	4	0	1.9	0	0.1	0

Fecha	Día	Etap	Agot.	Lám.Neta	Déficit	Pérdida	Lam.Br.	Caudal
5-Mar	5	Ini	6	1	1.9	0	1.4	0.16
6-Mar	6	Ini	6	1	1.9	0	1.4	0.16
8-Mar	8	Ini	4	0	1.9	0	0.1	0
9-Mar	9	Ini	6	1	1.9	0	1.4	0.16
10-Mar	10	Ini	6	1	1.9	0	1.4	0.16
11-Mar	11	Ini	6	1	1.9	0	1.4	0.16
12-Mar	12	Ini	6	1	1.9	0	1.4	0.16
14-Mar	14-Jan	Ini	4-Jan	0-Jan	1-Jan	0-Jan	0-Jan	0.01
15-Mar	15	Ini	6	1	1.9	0	1.4	0.16
16-Mar	16	Ini	6	1	1.9	0	1.4	0.16
18-Mar	18	Ini	4	0.1	1.9	0	0.1	0.01
19-Mar	19	Ini	6	1	1.9	0	1.4	0.16
20-Mar	20	Ini	6	1	1.9	0	1.4	0.16
21-Mar	21	Des	7	1.3	2	0	1.8	0.21
22-Mar	22	Des	7	1.3	2	0	1.8	0.21
24-Mar	24	Des	6	0.6	2	0	0.9	0.05
25-Mar	25	Des	7	1.3	2.1	0	1.8	0
26-Mar	26	Des	7	1.3	2.1	0	1.8	0
28-Mar	28	Des	6	0.5	2.2	0	0.7	0.04
29-Mar	29	Des	7	1.3	2.2	0	1.8	0.01
30-Mar	30	Des	7	1.3	2.2	0	1.8	0.11
31-Mar	31	Des	7	1.3	2.3	0	1.8	0.21
1 Abr	32	Des	9	1.9	2.3	0	2.6	0.16
2 Abr	33	Des	9	1.9	2.3	0	2.6	0.16
4 Abr	35	Des	8	1.4	2.4	0	1.9	0
5 Abr	36	Des	9	1.9	2.4	0	2.6	0.16
6 Abr	37	Des	9	1.9	2.5	0	2.6	0.16
8 Abr	39	Des	8	1.2	2.5	0	1.8	0.16
9 Abr	40	Des	9	1.9	2.6	0	2.6	0.16
10 Abr	41	Des	9	1.9	2.6	0	2.6	0.16
11 Abr	42	Des	10	2.3	2.6	0	3.3	0
12 Abr	43	Des	10	2.3	2.7	0	3.3	0.16
14 Abr	45	Des	10	2	2.7	0	2.9	0.16
15 Abr	46	Des	11	2.3	2.8	0	3.3	0.16
16 Abr	47	Des	11	2.3	2.8	0	3.3	0
18 Abr	49	Des	10	1.9	2.8	0	2.7	0.16
19 Abr	50	Des	11	2.3	2.9	0	3.3	0
20 Abr	51	Med	11	2.4	2.9	0	3.4	0
21 Abr	52	Med	11	2.5	2.9	0	3.6	0.16
22 Abr	53	Med	11	2.5	2.9	0	3.6	0.16
24 Abr	55	Med	11	2.2	2.9	0	3.1	0

Fecha	Día	Etap	Agot.	Lám.Neta	Déficit	Pérdida	Lam.Br.	Caudal
25 Abr	56	Med	11	2.5	2.9	0	3.6	0.16
26 Abr	57	Med	11	2.5	2.9	0	3.6	0.16
28 Abr	59	Med	11	2.2	2.9	0	3.1	0.16
29 Abr	60	Med	11	2.5	2.9	0	3.6	0.16
30 Abr	61	Med	11	2.5	2.9	0	3.6	0.01
1-May	62	Med	11	2.5	2.9	0	3.5	0.16
2-May	63	Med	11	2.5	2.9	0	3.5	0.16
4-May	65	Med	10	2.1	2.9	0	3	0.01
5-May	66	Med	11	2.5	2.9	0	3.5	0.16
6-May	67	Med	11	2.5	2.9	0	3.5	0.41
8-May	69	Med	10	2.1	2.9	0	3	0.17
9-May	70	Med	11	2.5	2.9	0	3.5	0.41
10-May	71	Med	11	2.5	2.9	0	3.5	0.41
11-May	72	Med	11	2.4	2.9	0	3.5	0.4
12-May	73	Med	11	2.4	2.9	0	3.5	0.4
14-May	75	Med	10	2	2.9	0	2.8	0.16
15-May	76	Med	11	2.4	2.9	0	3.5	0.4
16-May	77	Med	11	2.4	2.9	0	3.5	0.4
18-May	79	Med	10	2	2.9	0	2.8	0.16
19-May	80	Med	11	2.4	2.9	0	3.5	0.16
20-May	81	Fin	11	2.5	2.8	0	3.5	0.16
21-May	82	Fin	10	2	2.8	0	2.8	0.01
22-May	83	Fin	10	2	2.7	0	2.8	0.16
24-May	85	Fin	8	1.2	2.6	0	1.7	0.16
25-May	86	Fin	9	2	2.6	0	2.8	0
26-May	87	Fin	9	2	2.5	0	2.8	0.16
28-May	89	Fin	8	1.4	2.4	0	2	0.16
29-May	90	Fin	9	2	2.4	0	2.8	0.16
30-May	91	Fin	9	2	2.4	0	2.8	0.16
31-May	92	Fin	9	2	2.3	0	2.8	0.01
1-Jun	93	Fin	7	1.3	2.3	0	1.9	0.16
2-Jun	94	Fin	7	1.3	2.2	0	1.9	0.16
4-Jun	96	Fin	5	0.4	2.1	0	0.6	0.01
5-Jun	97	Fin	7	1.3	2.1	0	1.9	0.16
6-Jun	98	Fin	7	1.3	2	0	1.9	0.22
Valor Módulo (l/s/ha)								0.14

Anexo 3: Salida software CROPWAT – Modulo cultivo de cebada cuenca Embalse del Sisga

Fecha	Día	Etapa	Agot.	Lám.Neta	Déficit	Pérdida	Lam.Br.	Caudal
			%	mm	mm	mm	mm	l/s/ha
6-Mar	3	Ini	2	0.4	2.2	0	0.6	0.02
9-Mar	6	Ini	2	0.4	2.2	0	0.6	0.02
10-Mar	7	Ini	3	0.9	2.2	0	1.2	0.14
11-Mar	8	Ini	3	0.9	2.2	0	1.2	0.14
12-Mar	9	Ini	3	0.9	2.2	0	1.2	0.14
15-Mar	12	Ini	2	0.4	2.2	0	0.6	0.02
16-Mar	13	Ini	3	0.9	2.2	0	1.2	0.14
19-Mar	16	Des	2	0.2	2.4	0	0.3	0.01
20-Mar	17	Des	3	0.7	2.6	0	0.9	0.11
21-Mar	18-Jan	Des	4-Jan	1-Jan	2-Jan	0-Jan	1-Jan	0.18
22-Mar	19	Des	4	1.1	3	0	1.5	0.18
25-Mar	22	Des	4	0.2	3.7	0	0.3	0.01
26-Mar	23	Des	5	1.1	3.9	0	1.5	0.18
30-Mar	27	Des	5	0.4	4.8	0	0.6	0.02
31-Mar	28	Des	6	1.1	5	0	1.5	0.18
1 Abr	29	Des	6	1.6	5.2	0	2.3	0.27
2 Abr	30	Des	7	1.6	5.4	0	2.3	0.27
6 Abr	34	Des	7	1.2	6.3	0	1.7	0.05
10 Abr	38	Des	7	0.3	7.1	0	0.4	0.01
11 Abr	39	Des	9	2.1	7.3	0	3	0.35
12 Abr	40	Des	9	2.1	7.6	0	3	0.35
16 Abr	44	Des	9	0.9	8.4	0	1.2	0.04
20 Abr	48	Med	9	0.6	8.6	0	0.9	0.03
21 Abr	49	Med	10	2.4	8.6	0	3.4	0.39
22 Abr	50	Med	10	2.4	8.6	0	3.4	0.39
26 Abr	54	Med	9	0.8	8.6	0	1.2	0.03
30 Abr	58	Med	9	0.8	8.6	0	1.2	0.03
1-May	59	Med	10	2.3	8.6	0	3.3	0.38
2-May	60	Med	10	2.3	8.6	0	3.3	0.38
6-May	64	Med	9	0.6	8.6	0	0.8	0.02
10-May	68	Med	9	0.6	8.6	0	0.8	0.02
11-May	69	Med	10	2.2	8.6	0	3.2	0.37
12-May	70	Med	10	2.2	8.6	0	3.2	0.37
16-May	74	Med	8	0.3	8.6	0	0.4	0.01
20-May	78	Med	8	0.3	8.6	0	0.4	0.01
21-May	79	Med	10	2.2	8.6	0	3.1	0.36
22-May	80	Med	10	2.2	8.6	0	3.1	0.36

Fecha	Día	Etap	Agot.	Lám.Neta	Déficit	Pérdida	Lam.Br.	Caudal
26-May	84	Med	8	0	8.6	0	0	0
30-May	88	Med	8	0	8.6	0	0	0
31-May	89	Med	10	2.2	8.6	0	3.1	0.36
1-Jun	90	Med	10	2.1	8.6	0	3	0.35
2-Jun	91	Med	10	2.1	8.6	0	3	0.35
11-Jun	100	Med	10	1.7	8.6	0	2.5	0.03
12-Jun	101	Med	10	2	8.6	0	2.9	0.33
21-Jun	110	Med	9	1.3	8.6	0	1.9	0.02
22-Jun	111	Fin	10	1.9	8.6	0	2.7	0.32
1-Jul	120	Fin	8	0.8	8.1	0	1.2	0.02
2-Jul	121	Fin	9	1.6	8.1	0	2.2	0.26
12-Jul	131	Fin	8	0.8	7.6	0	1.1	0.01
Valor del Módulo (l/s/ha)								0.16

Anexo 4: Salida software CROPWAT – Modulo cultivo de hortalizas cuenca Embalse de Tominé

Fecha	Día	Etap	Agot.	Lám.Neta	Déficit	Pérdida	Lam.Br.	Caudal
			%	mm	mm	mm	mm	l/s/ha
2 Ene	2	Ini	5	1.5	2.3	0	2.2	0.13
4 Ene	4	Ini	5	1.5	2.3	0	2.2	0.13
5 Ene	5	Ini	5	1.9	2.3	0	2.8	0.32
6 Ene	6	Ini	5	1.9	2.3	0	2.8	0.32
8 Ene	8	Ini	5	1.5	2.3	0	2.2	0.13
9 Ene	9	Ini	5	1.9	2.3	0	2.8	0.32
10 Ene	10	Ini	5	1.9	2.3	0	2.8	0.32
11 Ene	11	Ini	6	2	2.3	0	2.8	0.33
12 Ene	12	Ini	6	2	2.3	0	2.8	0.33
14 Ene	14-Jan	Ini	5-Jan	1-Jan	2-Jan	0-Jan	2-Jan	0.13
15 Ene	15	Ini	6	2	2.3	0	2.8	0.33
16 Ene	16	Ini	6	2	2.3	0	2.8	0.33
18 Ene	18	Ini	5	1.6	2.3	0	2.3	0.13
19 Ene	19	Ini	6	2	2.3	0	2.8	0
20 Ene	20	Ini	6	2	2.3	0	2.8	0.33
21 Ene	21	Ini	6	2	2.3	0	2.8	0.32
22 Ene	22	Ini	6	2	2.3	0	2.8	0.32
24 Ene	24	Ini	5	1.6	2.3	0	2.2	0.13
25 Ene	25	Ini	6	2	2.3	0	2.8	0
26 Ene	26	Ini	6	2	2.3	0	2.8	0
28 Ene	28	Ini	5	1.6	2.3	0	2.2	0.13
29 Ene	29	Ini	6	2	2.3	0	2.8	0.32

Fecha	Día	Etap	Agot.	Lám.Neta	Déficit	Pérdida	Lam.Br.	Caudal
30 Ene	30	Ini	6	2	2.3	0	2.8	0.32
31 Ene	31	Des	6	1.9	2.4	0	2.8	0.32
1-Feb	32	Des	6	2	2.4	0	2.8	0.33
2-Feb	33	Des	6	2	2.4	0	2.8	0.33
4-Feb	35	Des	5	1.6	2.4	0	2.3	0.13
5-Feb	36	Des	6	2	2.5	0	2.8	0.33
6-Feb	37	Des	6	2	2.5	0	2.8	0.33
8-Feb	39	Des	5	1.5	2.5	0	2.2	0.12
9-Feb	40	Des	6	2	2.5	0	2.8	0.33
10-Feb	41	Des	6	2	2.6	0	2.8	0.33
11-Feb	42	Des	6	2.1	2.6	0	3	0.35
12-Feb	43	Des	6	2.1	2.6	0	3	0.35
14-Feb	45	Des	5	1.6	2.6	0	2.3	0.13
15-Feb	46	Des	6	2.1	2.7	0	3	0.35
16-Feb	47	Des	6	2.1	2.7	0	3	0.35
18-Feb	49	Des	5	1.5	2.7	0	2.2	0.13
19-Feb	50	Des	6	2.1	2.7	0	3	0
20-Feb	51	Des	6	2.1	2.7	0	3	0
21-Feb	52	Des	6	2.3	2.8	0	3.3	0.13
22-Feb	53	Des	6	2.3	2.8	0	3.3	0.13
24-Feb	55	Des	6	1.8	2.8	0	2.5	0.15
25-Feb	56	Des	7	2.3	2.8	0	3.3	0
26-Feb	57	Des	7	2.3	2.9	0	3.3	0
28-Feb	59	Des	6	1.7	2.9	0	2.4	0.14
1-Mar	60	Des	7	2.5	2.9	0	3.5	0.13
2-Mar	61	Des	7	2.5	2.9	0	3.5	0.13
4-Mar	63	Des	6	2	3	0	2.8	0.16
5-Mar	4-Mar	Des	7-Jan	2-Jan	3-Jan	0-Jan	3-Jan	0.13
6-Mar	65	Des	7	2.5	3	0	3.5	0.13
8-Mar	67	Des	6	1.9	3.1	0	2.7	0.16
9-Mar	68	Des	7	2.5	3.1	0	3.5	0.41
10-Mar	69	Des	7	2.5	3.1	0	3.5	0.41
11-Mar	70	Des	7	2.6	3.1	0	3.7	0.13
12-Mar	71	Med	7	2.6	3.1	0	3.7	0.13
14-Mar	73	Med	7	2.1	3.1	0	3	0.17
15-Mar	74	Med	7	2.6	3.1	0	3.7	0.43
16-Mar	75	Med	7	2.6	3.1	0	3.7	0.43
18-Mar	77	Med	7	2.1	3.1	0	3	0.17
19-Mar	78	Med	7	2.6	3.1	0	3.7	0.13
20-Mar	79	Med	7	2.6	3.1	0	3.7	0.13
21-Mar	80	Med	7	2.5	3.1	0	3.6	0.42

Fecha	Día	Etap	Agot.	Lám.Neta	Déficit	Pérdida	Lam.Br.	Caudal
22-Mar	81	Med	7	2.5	3.1	0	3.6	0.42
24-Mar	83	Med	6	1.9	3.1	0	2.7	0.16
25-Mar	84	Med	7	2.5	3.1	0	3.6	0.13
26-Mar	85	Med	7	2.5	3.1	0	3.6	0.13
28-Mar	87	Med	6	1.9	3.1	0	2.7	0.16
29-Mar	88	Med	7	2.5	3.1	0	3.6	0.42
30-Mar	89	Med	7	2.5	3.1	0	3.6	0.13
31-Mar	90	Med	7	2.5	3.1	0	3.6	0.13
1 Abr	91	Med	7	2.4	3.1	0	3.5	0.4
2 Abr	92	Med	7	2.4	3.1	0	3.5	0.4
4 Abr	94	Med	6	1.7	3.1	0	2.5	0.14
5 Abr	95	Med	7	2.4	3.1	0	3.5	0.13
6 Abr	96	Med	7	2.4	3.1	0	3.5	0.13
8 Abr	98	Med	6	1.7	3.1	0	2.5	0.14
9 Abr	99	Med	7	2.4	3.1	0	3.5	0.4
10 Abr	100	Med	7	2.4	3.1	0	3.5	0.4
11 Abr	101	Fin	7	1.9	3.2	0	2.7	0.13
12 Abr	102	Fin	7	1.9	3.4	0	2.7	0.13
14 Abr	104	Fin	5	0.4	3.6	0	0.6	0.04
15 Abr	105	Fin	7	1.9	3.7	0	2.7	0.31
16 Abr	106	Fin	7	1.9	3.9	0	2.7	0.31
19 Abr	109	Fin	8	1.8	4.2	0	2.6	0.13
20 Abr	110	Fin	8	1.9	4.4	0	2.7	0.13
21 Abr	111	Fin	7	1.3	4.5	0	1.9	0.21
22 Abr	112	Fin	8	1.3	4.6	0	1.9	0.21
26 Abr	116	Fin	7	0.6	5.1	0	0.8	0.13
30 Abr	120	Fin	7	0.1	5.6	0	0.1	0.13
2-Jun	2	Ini	4	0.8	2.3	0	1.2	0.07
4-Jun	4	Ini	4	0.8	2.3	0	1.2	0.07
5-Jun	5	Ini	5	1.6	2.3	0	2.3	0.13
6-Jun	6	Ini	5	1.6	2.3	0	2.3	0.13
8-Jun	8	Ini	4	0.8	2.3	0	1.2	0.07
9-Jun	9	Ini	5	1.6	2.3	0	2.3	0.26
10-Jun	10	Ini	5	1.6	2.3	0	2.3	0.26
11-Jun	11	Ini	5	1.5	2.3	0	2.2	0.13
12-Jun	12	Ini	5	1.5	2.3	0	2.2	0.13
14-Jun	14	Ini	4	0.7	2.3	0	1	0.06
15-Jun	15	Ini	5	1.5	2.3	0	2.2	0.25
16-Jun	16	Ini	5	1.5	2.3	0	2.2	0.25
18-Jun	18	Ini	4	0.7	2.3	0	1	0.13
19-Jun	19	Ini	5	1.5	2.3	0	2.2	0.13

Fecha	Día	Etap	Agot.	Lám.Neta	Déficit	Pérdida	Lam.Br.	Caudal
20-Jun	20	Ini	5	1.5	2.3	0	2.2	0.12
21-Jun	21	Ini	5	1.6	2.3	0	2.2	0.12
22-Jun	22	Ini	5	1.6	2.3	0	2.2	0.12
24-Jun	24	Ini	4	0.8	2.3	0	1.2	0.07
25-Jun	25	Ini	5	1.6	2.3	0	2.2	0.13
26-Jun	26	Ini	5	1.6	2.3	0	2.2	0.13
28-Jun	28	Ini	4	0.8	2.3	0	1.2	0.07
29-Jun	29	Ini	5	1.6	2.3	0	2.2	0.12
30-Jun	30	Ini	5	1.6	2.3	0	2.2	0.12
1-Jul	31	Des	5	1.7	2.4	0	2.4	0.13
2-Jul	32	Des	5	1.7	2.4	0	2.4	0.13
4-Jul	34	Des	4	0.9	2.4	0	1.3	0.08
5-Jul	35	Des	5	1.7	2.4	0	2.4	0.12
6-Jul	36	Des	5	1.7	2.5	0	2.4	0.12
8-Jul	38	Des	4	0.9	2.5	0	1.2	0.13
9-Jul	39	Des	5	1.7	2.5	0	2.4	0.13
10-Jul	40	Des	5	1.7	2.5	0	2.4	0.27
11-Jul	41	Des	6	1.8	2.6	0	2.6	0.3
12-Jul	42	Des	6	1.8	2.6	0	2.6	0.3
14-Jul	44	Des	5	1.1	2.6	0	1.5	0.09
15-Jul	45	Des	6	1.8	2.6	0	2.6	0.3
16-Jul	46	Des	6	1.8	2.7	0	2.6	0.3
18-Jul	48	Des	5	1	2.7	0	1.4	0.08
19-Jul	49	Des	6	1.8	2.7	0	2.6	0.3
20-Jul	50	Des	6	1.8	2.7	0	2.6	0.3
21-Jul	51	Des	6	1.9	2.7	0	2.8	0.32
22-Jul	52	Des	6	1.9	2.8	0	2.8	0.32
24-Jul	54	Des	5	1.1	2.8	0	1.6	0.09
25-Jul	55	Des	6	1.9	2.8	0	2.8	0.32
26-Jul	56	Des	6	1.9	2.8	0	2.8	0.32
28-Jul	58	Des	5	1	2.9	0	1.5	0.09
29-Jul	59	Des	6	1.9	2.9	0	2.8	0.32
30-Jul	60	Des	6	1.9	2.9	0	2.8	0.32
31-Jul	61	Des	6	1.9	2.9	0	2.8	0.32
1 Ago	62	Des	6	2.1	3	0	3	0.13
2 Ago	63	Des	6	2.1	3	0	3	0.13
4 Ago	65	Des	5	1.1	3	0	1.6	0.09
5 Ago	66	Des	7	2.1	3	0	3	0.34
6 Ago	67	Des	7	2.1	3.1	0	3	0.34
8 Ago	69	Des	5	1.1	3.1	0	1.5	0.09
9 Ago	70	Des	7	2.1	3.1	0	3	0.34

Fecha	Día	Etap	Agot.	Lám.Neta	Déficit	Pérdida	Lam.Br.	Caudal
10 Ago	71	Med	7	2.1	3.1	0	3	0.34
11 Ago	72	Med	7	2.1	3.1	0	3.1	0.13
12 Ago	73	Med	7	2.1	3.1	0	3.1	0.13
14 Ago	75	Med	5	1.2	3.1	0	1.6	0.1
15 Ago	76	Med	7	2.1	3.1	0	3.1	0.13
16 Ago	77	Med	7	2.1	3.1	0	3.1	0.13
18 Ago	79	Med	5	1.2	3.1	0	1.6	0.1
19 Ago	80	Med	7	2.1	3.1	0	3.1	0.35
20 Ago	81	Med	7	2.1	3.1	0	3.1	0.35
21 Ago	82	Med	7	2.2	3.1	0	3.1	0.36
22 Ago	83	Med	7	2.2	3.1	0	3.1	0.36
24 Ago	85	Med	6	1.3	3.1	0	1.8	0.11
25 Ago	86	Med	7	2.2	3.1	0	3.1	0
26 Ago	87	Med	7	2.2	3.1	0	3.1	0
28 Ago	89	Med	6	1.3	3.1	0	1.8	0.11
29 Ago	90	Med	7	2.2	3.1	0	3.1	0.36
30 Ago	91	Med	7	2.2	3.1	0	3.1	0.36
31 Ago	92	Med	7	2.2	3.1	0	3.1	0
1-Sep	93	Med	7	2.2	3.1	0	3.2	0
2-Sep	94	Med	7	2.2	3.1	0	3.2	0
4-Sep	96	Med	6	1.4	3.1	0	1.9	0
5-Sep	97	Med	7	2.2	3.1	0	3.2	0.37
6-Sep	98	Med	7	2.2	3.1	0	3.2	0.37
8-Sep	100	Med	6	1.4	3.1	0	1.9	0.11
9-Sep	101	Fin	7	2.1	3.2	0	3	0.35
10-Sep	102	Fin	7	2.1	3.4	0	3	0.12
11-Sep	103	Fin	7	1.8	3.5	0	2.5	0.12
12-Sep	104	Fin	7	1.8	3.6	0	2.5	0.12
15-Sep	107	Fin	7	1.7	4	0	2.4	0.09
16-Sep	108	Fin	8	1.8	4.1	0	2.5	0.29
19-Sep	111	Fin	7	1.2	4.5	0	1.7	0.07
20-Sep	112	Fin	8	1.8	4.6	0	2.5	0.29
21-Sep	113	Fin	8	1.2	4.7	0	1.7	0.2
22-Sep	114	Fin	8	1.2	4.9	0	1.7	0.2
1-Oct	123	Fin	8	0.2	6	0	0.3	0
2-Oct	124	Fin	9	0.8	6.1	0	1.2	0.14
3-Oct	Fin	Fin	0					0
2-Nov	2	Ini	5	1.2	2.3	0	1.7	0.1
4-Nov	4	Ini	5	1.2	2.3	0	1.7	0.1
5-Nov	5	Ini	5	1.8	2.3	0	2.5	0.29
6-Nov	6	Ini	5	1.8	2.3	0	2.5	0.29

Fecha	Día	Etap	Agot.	Lám.Neta	Déficit	Pérdida	Lam.Br.	Caudal
8-Nov	8	Ini	5	1.2	2.3	0	1.7	0.1
9-Nov	9	Ini	5	1.8	2.3	0	2.5	0.12
10-Nov	10	Ini	5	1.8	2.3	0	2.5	0.12
11-Nov	11	Ini	5	1.8	2.3	0	2.5	0.29
12-Nov	12	Ini	5	1.8	2.3	0	2.5	0.29
14-Nov	14	Ini	5	1.2	2.3	0	1.7	0.1
15-Nov	15	Ini	5	1.8	2.3	0	2.5	0.29
16-Nov	16	Ini	5	1.8	2.3	0	2.5	0.29
18-Nov	18	Ini	5	1.2	2.3	0	1.7	0.1
19-Nov	19	Ini	5	1.8	2.3	0	2.5	0.12
20-Nov	20	Ini	5	1.8	2.3	0	2.5	0.12
21-Nov	21	Ini	5	1.8	2.3	0	2.5	0.12
22-Nov	22	Ini	5	1.8	2.3	0	2.5	0.29
24-Nov	24	Ini	5	1.2	2.3	0	1.7	0.1
25-Nov	25	Ini	5	1.8	2.3	0	2.5	0.29
26-Nov	26	Ini	5	1.8	2.3	0	2.5	0.29
28-Nov	28	Ini	5	1.2	2.3	0	1.7	0.1
29-Nov	29	Ini	5	1.8	2.3	0	2.5	0.29
30-Nov	30	Ini	5	1.8	2.3	0	2.5	0.29
1 Dic	31	Des	5	1.9	2.4	0	2.7	0.13
2 Dic	32	Des	5	1.9	2.4	0	2.7	0.13
4 Dic	34	Des	5	1.4	2.4	0	1.9	0.11
5 Dic	35	Des	6	1.9	2.4	0	2.7	0.13
6 Dic	36	Des	6	1.9	2.5	0	2.7	0.13
8 Dic	38	Des	5	1.3	2.5	0	1.8	0.11
9 Dic	39	Des	6	1.9	2.5	0	2.7	0.31
10 Dic	40	Des	6	1.9	2.5	0	2.7	0.31
11 Dic	41	Des	6	2.1	2.6	0	2.9	0.12
12 Dic	42	Des	6	2.1	2.6	0	2.9	0.12
14 Dic	44	Des	5	1.5	2.6	0	2.2	0.13
15 Dic	45	Des	6	2.1	2.6	0	2.9	0.34
16 Dic	46	Des	6	2.1	2.7	0	2.9	0.34
18 Dic	48	Des	5	1.5	2.7	0	2.1	0.12
19 Dic	49	Des	6	2.1	2.7	0	2.9	0
20 Dic	50	Des	6	2.1	2.7	0	2.9	0.34
21 Dic	51	Des	6	2.3	2.7	0	3.3	0
22 Dic	52	Des	6	2.3	2.8	0	3.3	0
24 Dic	54	Des	6	1.8	2.8	0	2.5	0
25 Dic	55	Des	7	2.3	2.8	0	3.3	0.13
26 Dic	56	Des	7	2.3	2.8	0	3.3	0.13
28 Dic	58	Des	6	1.7	2.9	0	2.4	0.14

Fecha	Día	Etap	Agot.	Lám.Neta	Déficit	Pérdida	Lam.Br.	Caudal
29 Dic	59	Des	7	2.3	2.9	0	3.3	0.38
30 Dic	60	Des	7	2.3	2.9	0	3.3	0.13
31 Dic	61	Des	7	2.3	2.9	0	3.3	0.13
1 Ene	62	Des	7	2.5	3	0	3.6	0.12
2 Ene	63	Des	7	2.5	3	0	3.6	0.12
4 Ene	65	Des	6	2	3	0	2.9	0.17
5 Ene	66	Des	7	2.5	3	0	3.6	0.41
6 Ene	67	Des	7	2.5	3.1	0	3.6	0.41
8 Ene	69	Des	6	2	3.1	0	2.8	0
9 Ene	70	Des	7	2.5	3.1	0	3.6	0.41
10 Ene	71	Med	7	2.5	3.1	0	3.6	0
11 Ene	72	Med	7	2.7	3.1	0	3.8	0
12 Ene	73	Med	7	2.7	3.1	0	3.8	0
14 Ene	75	Med	7	2.2	3.1	0	3.2	0.18
15 Ene	76	Med	7	2.7	3.1	0	3.8	0.44
16 Ene	77	Med	7	2.7	3.1	0	3.8	0
18 Ene	79	Med	7	2.2	3.1	0	3.2	0.18
19 Ene	80	Med	7	2.7	3.1	0	3.8	0.44
20 Ene	81	Med	7	2.7	3.1	0	3.8	0
21 Ene	82	Med	7	2.6	3.1	0	3.7	0.43
22 Ene	83	Med	7	2.6	3.1	0	3.7	0.43
24 Ene	85	Med	7	2.1	3.1	0	3	0
25 Ene	86	Med	7	2.6	3.1	0	3.7	0.13
26 Ene	87	Med	7	2.6	3.1	0	3.7	0.13
28 Ene	89	Med	7	2.1	3.1	0	3	0.12
29 Ene	90	Med	7	2.6	3.1	0	3.7	0.43
30 Ene	91	Med	7	2.6	3.1	0	3.7	0
31 Ene	92	Med	7	2.6	3.1	0	3.7	0.13
1-Feb	93	Med	7	2.5	3.1	0	3.6	0.13
2-Feb	94	Med	7	2.5	3.1	0	3.6	0.13
4-Feb	96	Med	7	2	3.1	0	2.8	0
5-Feb	97	Med	7	2.5	3.1	0	3.6	0.42
6-Feb	98	Med	7	2.5	3.1	0	3.6	0.13
8-Feb	100	Med	7	2	3.1	0	2.8	0.13
9-Feb	101	Fin	7	2.4	3.2	0	3.5	0.4
10-Feb	102	Fin	7	2.4	3.4	0	3.5	0.13
11-Feb	103	Fin	7	1.9	3.5	0	2.7	0
12-Feb	104	Fin	7	1.9	3.6	0	2.7	0.32
14-Feb	106	Fin	5	0.2	3.9	0	0.3	0.13
15-Feb	107	Fin	8	1.9	4	0	2.7	0.13
16-Feb	108	Fin	8	1.9	4.1	0	2.7	0.12

Fecha	Día	Etap	Agot.	Lám.Neta	Déficit	Pérdida	Lam.Br.	Caudal
19-Feb	111	Fin	8	1.7	4.5	0	2.4	0.09
20-Feb	112	Fin	8	1.9	4.6	0	2.7	0.13
21-Feb	113	Fin	8	1.4	4.7	0	2	0.13
22-Feb	114	Fin	8	1.4	4.9	0	2	0.23
26-Feb	118	Fin	8	0.7	5.4	0	1	0.03
Valor del Módulo (l/s/ha)								0.19

Anexo 5: Salida software CROPWAT – Modulo cultivo de durazno cuenca Río Neusa

Fecha	Día	Etap	Agot.	Lám.Neta	Déficit	Pérdida	Lam.Br.	Caudal
			%	mm	mm	mm	mm	l/s/ha
10-May	6	Ini	4	0.2	5	0	0.2	0
11-May	7	Ini	5	1.3	5	0	1.8	0.21
12-May	8	Ini	5	1.3	5	0	1.8	0.21
16-May	12	Ini	4	0.1	5	0	0.1	0
20-May	16	Ini	4	0.1	5	0	0.1	0
21-May	17	Ini	5	1.2	5	0	1.8	0.21
22-May	18	Ini	5	1.2	5	0	1.8	0.21
31-May	27	Des	5	0.8	5.5	0	1.1	0.01
1-Jun	28	Des	5	1.3	5.5	0	1.8	0.21
2-Jun	29-Jan	Des	6-Jan	1-Jan	5-Jan	0-Jan	1-Jan	0.21
11-Jun	38	Des	6	0.6	6.2	0	0.9	0.01
12-Jun	39	Des	6	1.4	6.3	0	2	0.23
21-Jun	48	Des	6	0.4	7	0	0.6	0.01
22-Jun	49	Des	7	1.6	7	0	2.2	0.26
1-Jul	58	Des	7	0.6	7.7	0	0.9	0.01
2-Jul	59	Des	8	1.7	7.7	0	2.5	0.29
11-Jul	68	Des	7	0.8	8.4	0	1.2	0.02
12-Jul	69	Des	8	1.9	8.4	0	2.7	0.32
21-Jul	78	Des	8	1.1	9.1	0	1.6	0.02
22-Jul	79	Des	9	2.2	9.2	0	3.1	0.36
31-Jul	88	Des	9	1.3	9.8	0	1.9	0.02
1 Ago	89	Des	10	2.3	9.9	0	3.3	0.39
2 Ago	90	Des	10	2.3	9.9	0	3.3	0.39
6 Ago	94	Med	8	0.3	9.9	0	0.4	0.01
10 Ago	98	Med	8	0.3	9.9	0	0.4	0.01
11 Ago	99	Med	10	2.5	9.9	0	3.5	0.41
12 Ago	100	Med	10	2.5	9.9	0	3.5	0.41
16 Ago	104	Med	9	1.1	9.9	0	1.5	0.04

Fecha	Día	Etap	Agot.	Lám.Neta	Déficit	Pérdida	Lam.Br.	Caudal
20 Ago	108	Med	9	1.1	9.9	0	1.5	0.04
21 Ago	109	Med	10	2.6	9.9	0	3.7	0.42
22 Ago	110	Med	10	2.6	9.9	0	3.7	0.42
26 Ago	114	Med	9	0.7	9.9	0	0.9	0.03
30 Ago	118	Med	9	0.7	9.9	0	0.9	0.03
31 Ago	119	Med	10	2.6	9.9	0	3.7	0.42
1-Sep	120	Med	10	2.6	9.9	0	3.8	0.44
2-Sep	121	Med	10	2.6	9.9	0	3.8	0.44
6-Sep	125	Med	9	0.7	9.9	0	0.9	0.03
10-Sep	129	Med	9	0.7	9.9	0	0.9	0.03
11-Sep	130	Med	10	2.7	9.9	0	3.9	0.03
12-Sep	131	Med	10	2.7	9.9	0	3.9	0.03
16-Sep	135	Med	9	0.9	9.9	0	1.3	0.04
20-Sep	139	Med	9	0.9	9.9	0	1.3	0.04
21-Sep	140	Med	10	2.7	9.9	0	3.9	0.45
22-Sep	141	Med	10	2.7	9.9	0	3.9	0.45
26-Sep	145	Med	9	1	9.9	0	1.4	0.04
30-Sep	149	Med	9	1	9.9	0	1.4	0.04
1-Oct	150	Med	10	2.7	9.9	0	3.9	0.03
2-Oct	151	Med	10	2.7	9.9	0	3.9	0.03
6-Oct	155	Med	9	1	9.9	0	1.4	0.04
10-Oct	7-Jun	Med	9-Jan	1-Jan	9-Jan	0-Jan	1-Jan	0.04
11-Oct	160	Med	10	2.7	9.9	0	3.9	0.03
12-Oct	161	Med	10	2.7	9.9	0	3.9	0.03
16-Oct	165	Med	9	1	9.9	0	1.4	0.04
20-Oct	169	Med	9	1	9.9	0	1.4	0.04
21-Oct	170	Med	10	2.7	9.9	0	3.9	0.45
22-Oct	171	Med	10	2.7	9.9	0	3.9	0.45
26-Oct	175	Med	9	0.9	9.9	0	1.3	0.04
30-Oct	179	Med	9	0.9	9.9	0	1.3	0.04
31-Oct	180	Med	10	2.7	9.9	0	3.9	0.45
1-Nov	181	Fin	10	2.7	9.8	0	3.9	0.45
2-Nov	182	Fin	10	2.7	9.8	0	3.9	0.45
6-Nov	186	Fin	8	1	9.4	0	1.5	0.04
10-Nov	190	Fin	8	1.4	9.1	0	2	0.06
11-Nov	191	Fin	9	2.5	9	0	3.6	0.42
12-Nov	192	Fin	9	2.5	8.9	0	3.6	0.42
16-Nov	196	Fin	8	1.2	8.6	0	1.7	0.05
20-Nov	200	Fin	8	1.6	8.3	0	2.2	0.06
21-Nov	201	Fin	9	2.4	8.2	0	3.5	0.4
22-Nov	202	Fin	8	2.4	8.1	0	3.5	0.4

Fecha	Día	Etapas	Agot.	Lám.Neta	Déficit	Pérdida	Lam.Br.	Caudal
26-Nov	206	Fin	8	1.7	7.8	0	2.4	0.07
10 Dic	6	Ini	4	0.4	5	0	0.6	0.01
11 Dic	7	Ini	5	1.4	5	0	2	0.23
12 Dic	8	Ini	5	1.4	5	0	2	0.23
16 Dic	12	Ini	4	0.5	5	0	0.8	0.02
20 Dic	16	Ini	4	0.5	5	0	0.8	0.02
21 Dic	17	Ini	5	1.5	5	0	2.1	0.24
22 Dic	18	Ini	5	1.5	5	0	2.1	0.24
26 Dic	22	Des	5	0.8	5.1	0	1.1	0.03
30 Dic	26	Des	5	0.5	5.4	0	0.7	0.02
31 Dic	27	Des	6	1.4	5.5	0	2	0.23
1 Ene	28	Des	6	1.7	5.5	0	2.4	0.03
2 Ene	29	Des	6	1.7	5.6	0	2.4	0.03
6 Ene	33	Des	6	1.4	5.9	0	2.1	0.06
10 Ene	37	Des	6	1.4	6.2	0	2.1	0.06
11 Ene	38	Des	7	1.9	6.2	0	2.8	0.32
12 Ene	39	Des	7	1.9	6.3	0	2.8	0.32
15 Ene	42	Des	7	1.8	6.5	0	2.6	0.1
16 Ene	43	Des	7	1.9	6.6	0	2.8	0.32
19 Ene	46	Des	7	1.8	6.8	0	2.6	0.1
20 Ene	47	Des	7	1.9	6.9	0	2.8	0.32
21 Ene	48	Des	7	2.2	7	0	3.1	0.36
22 Ene	49	Des	7	2.2	7	0	3.1	0.36
25 Ene	52	Des	7	1.6	7.2	0	2.2	0.09
26 Ene	53	Des	8	2.2	7.3	0	3.1	0.36
29 Ene	56	Des	7	1.6	7.5	0	2.2	0.09
30 Ene	57	Des	8	2.2	7.6	0	3.1	0.36
31 Ene	58	Des	8	2.2	7.7	0	3.1	0.36
1-Feb	59	Des	8	2.4	7.7	0	3.5	0.4
2-Feb	60	Des	8	2.4	7.8	0	3.5	0.4
5-Feb	63	Des	8	1.6	8	0	2.2	0.09
6-Feb	64	Des	8	2.4	8.1	0	3.5	0.4
9-Feb	67	Des	8	1.6	8.3	0	2.2	0.09
10-Feb	68	Des	9	2.4	8.4	0	3.5	0.4
11-Feb	69	Des	9	2.7	8.4	0	3.9	0.03
12-Feb	70	Des	9	2.7	8.5	0	3.9	0.03
15-Feb	73	Des	8	1.8	8.7	0	2.5	0.1
16-Feb	74	Des	9	2.7	8.8	0	3.9	0.45
19-Feb	77	Des	9	1.8	9	0	2.5	0.1
20-Feb	78	Des	9	2.7	9.1	0	3.9	0.45
21-Feb	79	Des	10	2.9	9.2	0	4.1	0.03

Fecha	Día	Etapas	Agot.	Lám.Neta	Déficit	Pérdida	Lam.Br.	Caudal
22-Feb	80	Des	10	2.9	9.2	0	4.1	0.03
26-Feb	84	Des	10	2.5	9.5	0	3.6	0.11
2-Mar	88	Des	10	2.8	9.8	0	4	0.12
6-Mar	92	Med	10	2.4	9.9	0	3.4	0.1
10-Mar	96	Med	10	2.4	9.9	0	3.4	0.1
11-Mar	97	Med	10	3.1	9.9	0	4.4	0.03
12-Mar	98	Med	10	3.1	9.9	0	4.4	0.03
16-Mar	102	Med	10	2.3	9.9	0	3.4	0.1
20-Mar	106	Med	10	2.3	9.9	0	3.4	0.1
21-Mar	107	Med	10	3	9.9	0	4.2	0.49
22-Mar	108	Med	10	3	9.9	0	4.2	0.49
26-Mar	112	Med	10	2	9.9	0	2.8	0.08
30-Mar	116	Med	10	2	9.9	0	2.8	0.08
31-Mar	117	Med	10	3	9.9	0	4.2	0.49
1 Abr	118	Med	10	2.9	9.9	0	4.1	0.47
2 Abr	119	Med	10	2.9	9.9	0	4.1	0.47
6 Abr	123	Med	9	1.6	9.9	0	2.2	0.06
10 Abr	127	Med	9	1.6	9.9	0	2.2	0.06
11 Abr	128	Med	10	2.8	9.9	0	4	0.46
12 Abr	129	Med	10	2.8	9.9	0	4	0.46
16 Abr	133	Med	9	1.2	9.9	0	1.7	0.05
20 Abr	137	Med	9	1.2	9.9	0	1.7	0.05
21 Abr	138	Med	10	2.7	9.9	0	3.9	0.45
22 Abr	139	Med	10	2.7	9.9	0	3.9	0.45
26 Abr	143	Med	9	1	9.9	0	1.4	0.04
30 Abr	147	Med	9	1	9.9	0	1.4	0.04
1-May	148	Med	10	2.7	9.9	0	3.8	0.44
2-May	149	Med	10	2.7	9.9	0	3.8	0.44
6-May	153	Med	9	0.8	9.9	0	1.1	0.03
10-May	157	Med	9	0.8	9.9	0	1.1	0.03
11-May	158	Med	10	2.6	9.9	0	3.8	0.44
12-May	159	Med	10	2.6	9.9	0	3.8	0.44
16-May	163	Med	8	0.6	9.9	0	0.9	0.03
20-May	167	Med	8	0.6	9.9	0	0.9	0.03
21-May	168	Med	10	2.5	9.9	0	3.6	0.41
22-May	169	Med	10	2.5	9.9	0	3.6	0.41
26-May	173	Med	8	0.1	9.9	0	0.1	0
30-May	177	Med	8	0.1	9.9	0	0.1	0
31-May	178	Med	10	2.5	9.9	0	3.6	0.41
1-Jun	179	Med	10	2.3	9.9	0	3.3	0.38
2-Jun	180	Med	10	2.3	9.9	0	3.3	0.38

Fecha	Día	Etapa	Agot.	Lám.Neta	Déficit	Pérdida	Lam.Br.	Caudal
11-Jun	189	Fin	9	2.1	9.2	0	3	0.04
12-Jun	190	Fin	9	2.1	9.1	0	3	0.35
21-Jun	199	Fin	8	1.6	8.4	0	2.3	0.03
22-Jun	200	Fin	8	2	8.3	0	2.8	0.32
1-Jul	209	Fin	8	1.8	7.5	0	2.6	0.03
Valor del Módulo (l/s/ha)								0.19

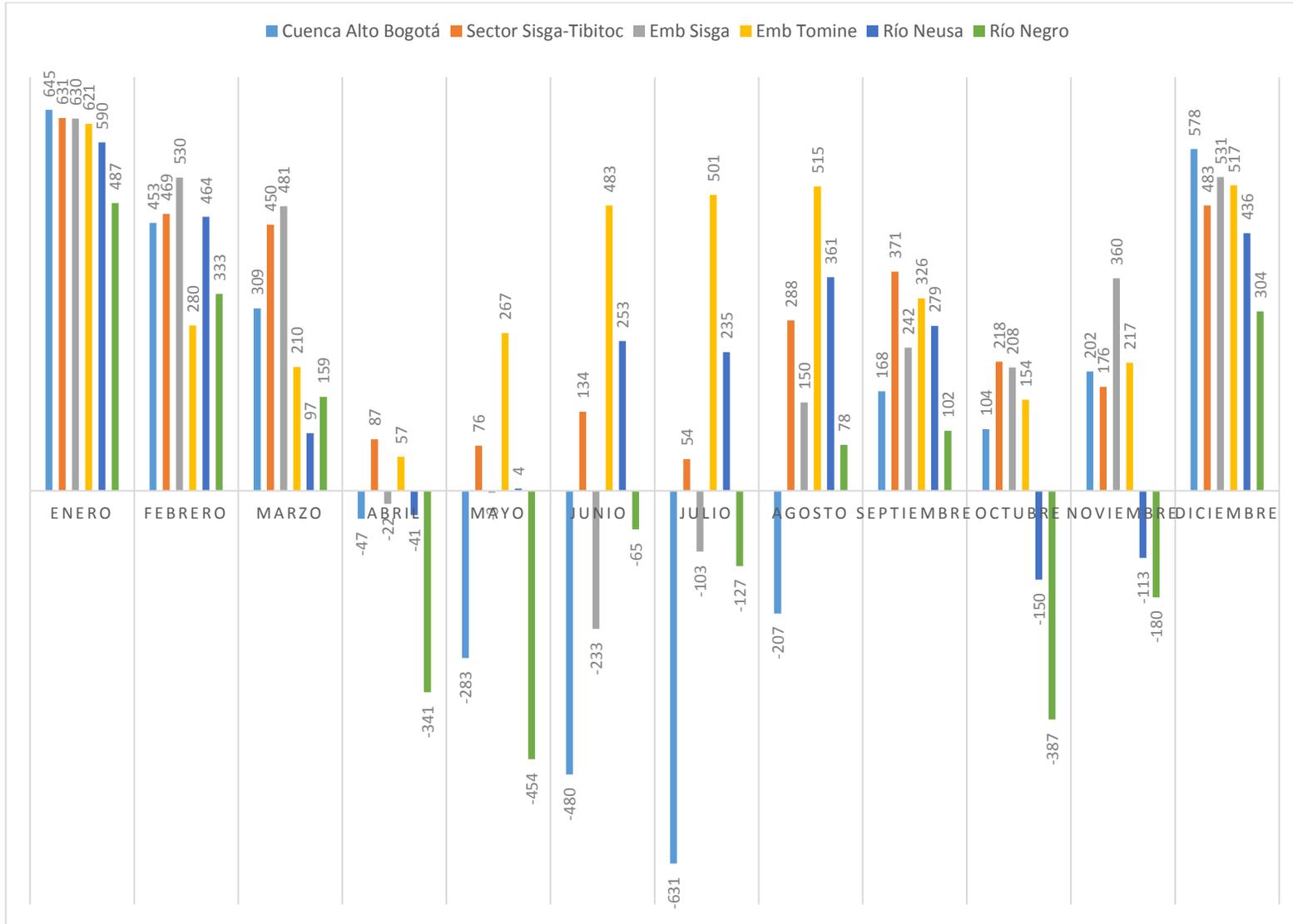
Anexo 6: Salida software CROPWAT – Modulo cultivo de legumbres cuenca Río Negro

Fecha	Día	Etapa	Agot.	Lám.Neta	Déficit	Pérdida	Lam.Br.	Caudal
			%	mm	mm	mm	mm	l/s/ha
2-Feb	33	Des	8	0.8	8.2	0	1.2	0
11-Feb	42	Des	7	2.1	6.8	0	3	0.04
12-Feb	43	Des	7	2.4	6.6	0	3.4	0.39
15-Feb	46	Des	5	0.5	6.1	0	0.7	0.03
16-Feb	47	Des	6	2.4	5.9	0	3.4	0.39
19-Feb	50	Des	5	1.2	5.3	0	1.7	0.07
20-Feb	51	Med	6	2.2	5.3	0	3.1	0.36
21-Feb	52	Med	6	2.4	5.3	0	3.4	0.39
22-Feb	53	Med	6	2.4	5.3	0	3.4	0.39
25-Feb	25-Feb	Med	5-Jan	1-Jan	5-Jan	0-Jan	2-Jan	0.09
26-Feb	57	Med	6	2.4	5.3	0	3.4	0.39
1-Mar	60	Med	5	1.7	5.3	0	2.4	0
2-Mar	61	Med	6	2.3	5.3	0	3.3	0.04
5-Mar	64	Med	5	1.7	5.3	0	2.4	0.09
6-Mar	65	Med	6	2.3	5.3	0	3.3	0
9-Mar	68	Med	5	1.7	5.3	0	2.4	0.04
10-Mar	69	Med	6	2.3	5.3	0	3.3	0.39
11-Mar	70	Med	6	2.3	5.3	0	3.3	0.39
12-Mar	71	Med	6	2.3	5.3	0	3.3	0
15-Mar	74	Med	5	1.6	5.3	0	2.4	0.04
16-Mar	75	Med	6	2.3	5.3	0	3.3	0
19-Mar	78	Med	5	1.6	5.3	0	2.4	0.04
20-Mar	79	Med	6	2.3	5.3	0	3.3	0.39
21-Mar	80	Med	5	1.6	5.3	0	2.2	0.26
22-Mar	81	Fin	5	1	5.9	0	1.5	0.17
11-May	41	Des	6	0.8	7	0	1.1	0
12-May	42	Des	7	2.1	6.8	0	2.9	0.34
16-May	46	Des	6	1.5	6.1	0	2.1	0.06
19-May	49	Des	4	0.1	5.5	0	0.2	0.01

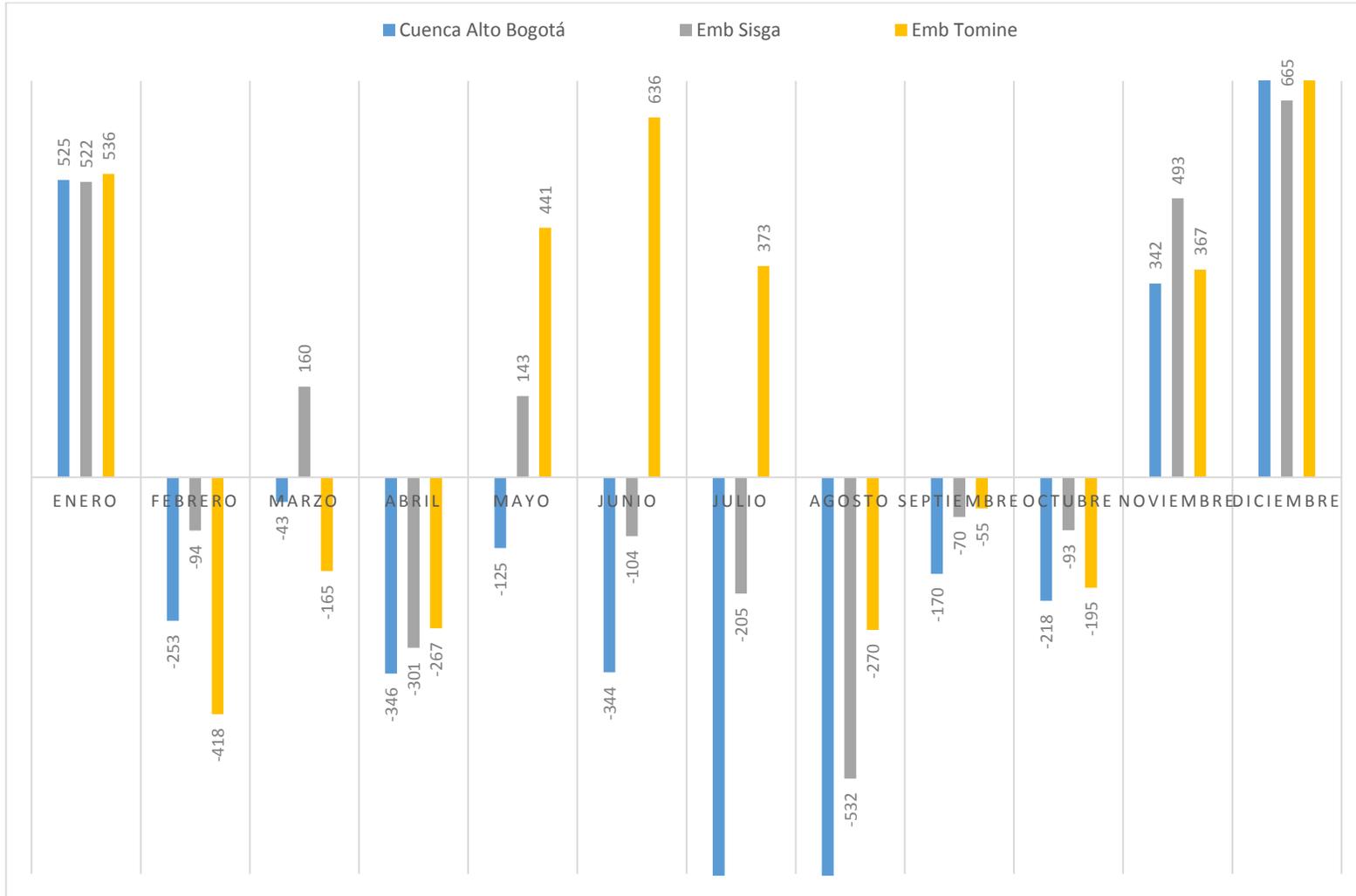
Fecha	Día	Etapas	Agot.	Lám.Neta	Déficit	Pérdida	Lam.Br.	Caudal
20-May	50	Des	6	2.1	5.3	0	3	0.34
21-May	51	Med	6	2.1	5.3	0	3	0
22-May	52	Med	6	2.1	5.3	0	3	0.04
25-May	55	Med	5	0.9	5.3	0	1.2	0.05
26-May	56	Med	6	2.1	5.3	0	3	0.34
29-May	59	Med	5	0.9	5.3	0	1.2	0.05
30-May	60	Med	6	2.1	5.3	0	3	0
31-May	61	Med	6	2.1	5.3	0	3	0.04
1-Jun	62	Med	6	2	5.3	0	2.9	0.34
2-Jun	63	Med	6	2	5.3	0	2.9	0.34
5-Jun	66	Med	5	0.8	5.3	0	1.1	0
6-Jun	67	Med	6	2	5.3	0	2.9	0.04
9-Jun	70	Med	5	0.8	5.3	0	1.1	0.04
10-Jun	71	Med	6	2	5.3	0	2.9	0.34
11-Jun	72	Med	6	2	5.3	0	2.9	0
12-Jun	73	Med	6	2	5.3	0	2.9	0.04
15-Jun	76	Med	5	0.7	5.3	0	1	0.04
16-Jun	17-Mar	Med	6-Jan	2-Jan	5-Jan	0-Jan	2-Jan	0
19-Jun	80	Med	5	0.7	5.3	0	1	0.04
20-Jun	81	Fin	6	1.5	5.9	0	2.1	0
21-Jun	82	Fin	5	0.7	6.4	0	1	0.04
22-Jun	83	Fin	6	0.7	7	0	1	0.12
2 Ago	33	Des	7	0.1	8.2	0	0.1	0
11 Ago	42	Des	6	1.4	6.8	0	2	0
12 Ago	43	Des	7	2.2	6.6	0	3.1	0.04
16 Ago	47	Des	6	2.2	5.9	0	3.2	0.09
19 Ago	50	Des	5	0.7	5.3	0	1.1	0.04
20 Ago	51	Med	6	2	5.3	0	2.9	0.34
21 Ago	52	Med	6	2.2	5.3	0	3.2	0
22 Ago	53	Med	6	2.2	5.3	0	3.2	0.04
25 Ago	56	Med	5	1.3	5.3	0	1.8	0.07
26 Ago	57	Med	6	2.2	5.3	0	3.2	0.37
29 Ago	60	Med	5	1.3	5.3	0	1.8	0.07
30 Ago	61	Med	6	2.2	5.3	0	3.2	0
31 Ago	62	Med	6	2.2	5.3	0	3.2	0.04
5-Sep	67	Med	5	1.3	5.3	0	1.9	0
6-Sep	68	Med	6	2.2	5.3	0	3.2	0.04
9-Sep	71	Med	5	1.3	5.3	0	1.9	0
10-Sep	72	Med	6	2.2	5.3	0	3.2	0.04
11-Sep	73	Med	6	2.2	5.3	0	3.1	0
12-Sep	74	Med	6	2.2	5.3	0	3.1	0.04

Fecha	Día	Etapas	Agot.	Lám.Neta	Déficit	Pérdida	Lam.Br.	Caudal
15-Sep	77	Med	5	1.2	5.3	0	1.7	0
16-Sep	78	Med	6	2.2	5.3	0	3.1	0.04
19-Sep	81	Fin	5	0.7	5.9	0	1	0.04
20-Sep	82	Fin	6	1.7	6.4	0	2.4	0.27
21-Sep	83	Fin	6	0.8	7	0	1.1	0.13
22-Sep	84	Fin	6	0.8	7.5	0	1.1	0.13
2-Nov	33	Des	7	0.1	8.2	0	0.2	0
11-Nov	42	Des	6	1.3	6.8	0	1.9	0.02
12-Nov	43	Des	7	2.2	6.6	0	3.1	0
16-Nov	47	Des	6	2	5.9	0	2.9	0.04
19-Nov	50	Des	4	0.6	5.3	0	0.9	0.03
20-Nov	51	Med	5	2	5.3	0	2.8	0.33
21-Nov	52	Med	6	2.2	5.3	0	3.1	0
22-Nov	53	Med	6	2.2	5.3	0	3.1	0.04
25-Nov	56	Med	5	1.1	5.3	0	1.6	0.06
26-Nov	57	Med	6	2.2	5.3	0	3.1	0
29-Nov	60	Med	5	1.1	5.3	0	1.6	0.04
30-Nov	61	Med	6	2.2	5.3	0	3.1	0.36
1 Dic	62	Med	6	2.2	5.3	0	3.1	0
2 Dic	63	Med	6	2.2	5.3	0	3.1	0.04
5 Dic	66	Med	5	1.2	5.3	0	1.7	0.06
6 Dic	67	Med	6	2.2	5.3	0	3.1	0
9 Dic	70	Med	5	1.2	5.3	0	1.7	0.04
10 Dic	71	Med	6	2.2	5.3	0	3.1	0
11 Dic	72	Med	6	2.2	5.3	0	3.1	0.04
12 Dic	73	Med	6	2.2	5.3	0	3.1	0
15 Dic	76	Med	5	1.2	5.3	0	1.7	0.04
16 Dic	77	Med	6	2.2	5.3	0	3.1	0
19 Dic	80	Med	5	1.2	5.3	0	1.7	0.04
20 Dic	81	Fin	6	1.6	5.9	0	2.3	0
21 Dic	82	Fin	5	0.8	6.4	0	1.2	0.04
22 Dic	83	Fin	6	0.8	7	0	1.2	0.14
Valor Módulo (l/s/ha)								0.11

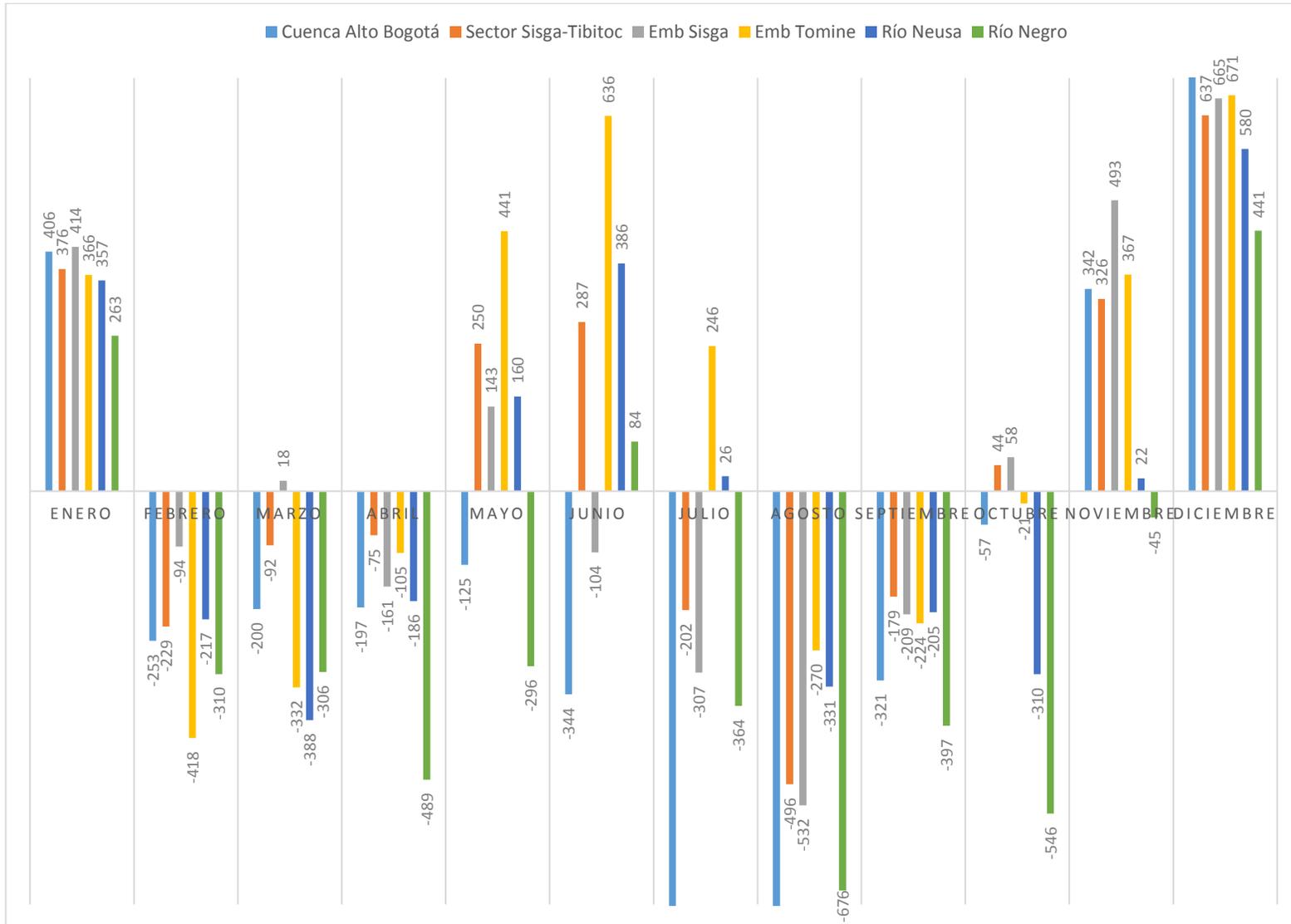
Anexo 7: Necesidad Neta de Riego (m3/Ha), cultivo de Pasto - Cuenca Alta del Río Bogotá



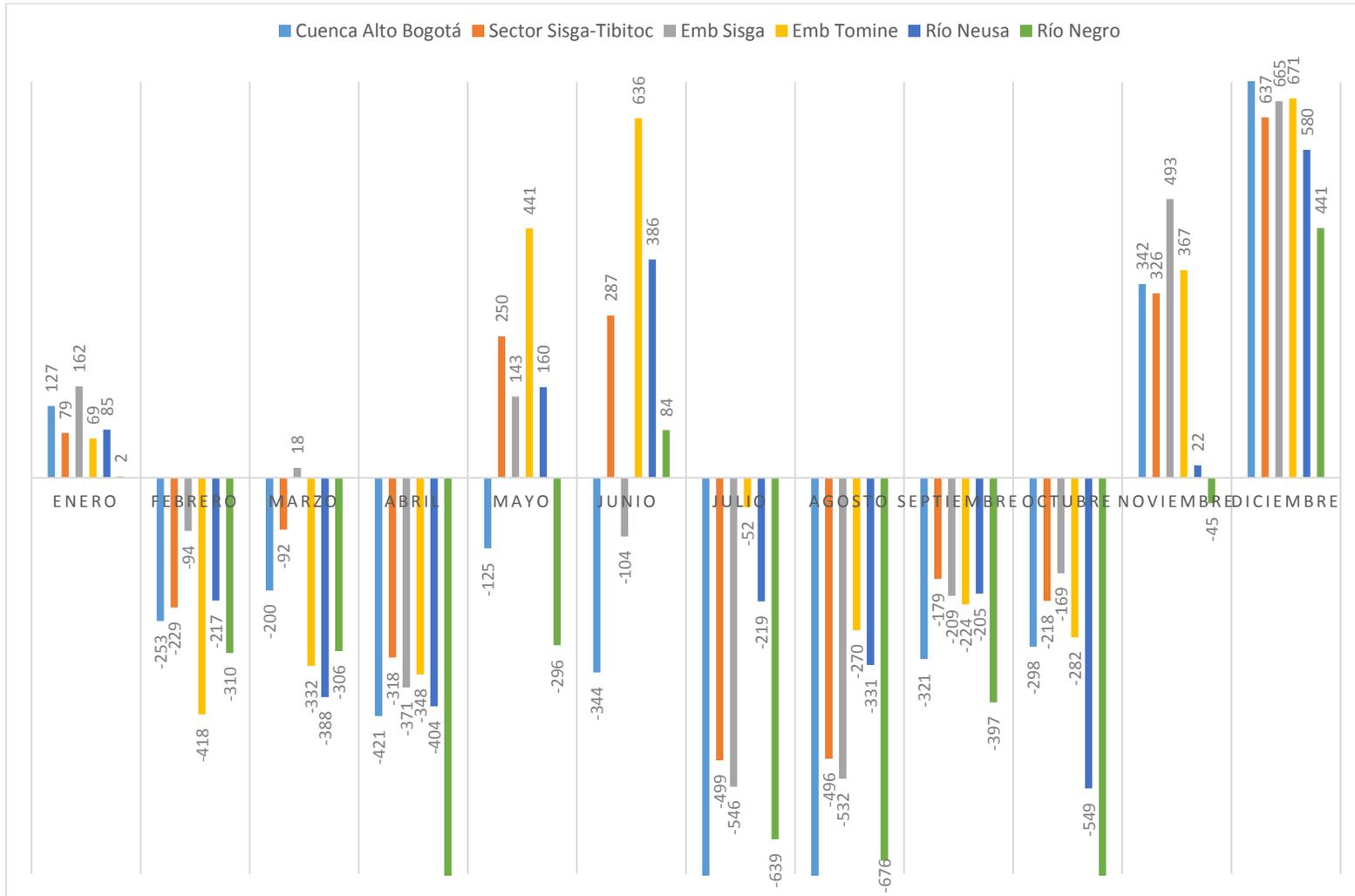
Anexo 8: Necesidad Neta de Riego (m3/Ha), cultivo de Papa - Cuenca Alta del Río Bogotá



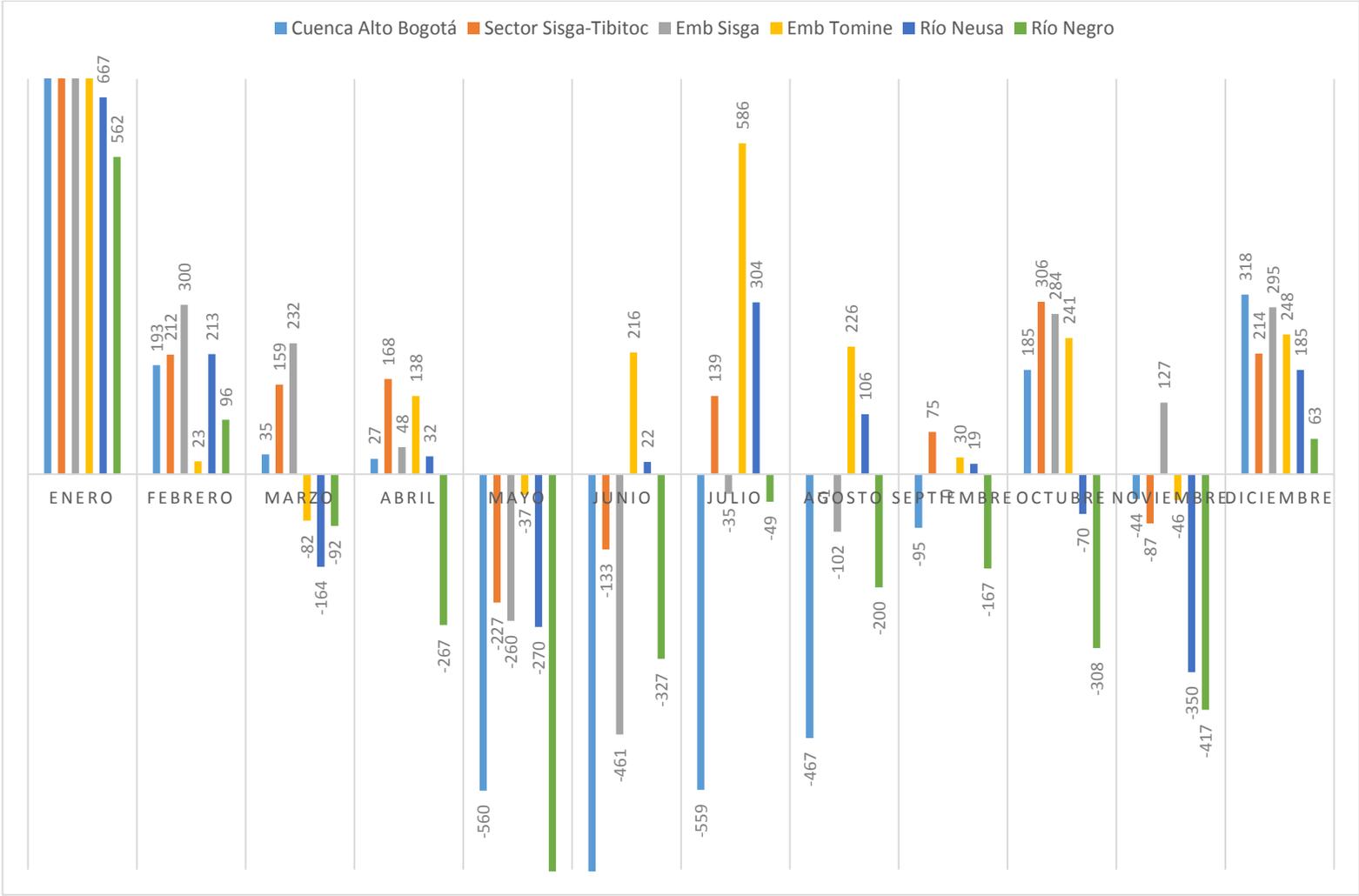
Anexo 9: Necesidad Neta de Riego (m³/Ha), cultivo de Maíz (Choclo) - Cuenca Alta del Río Bogotá



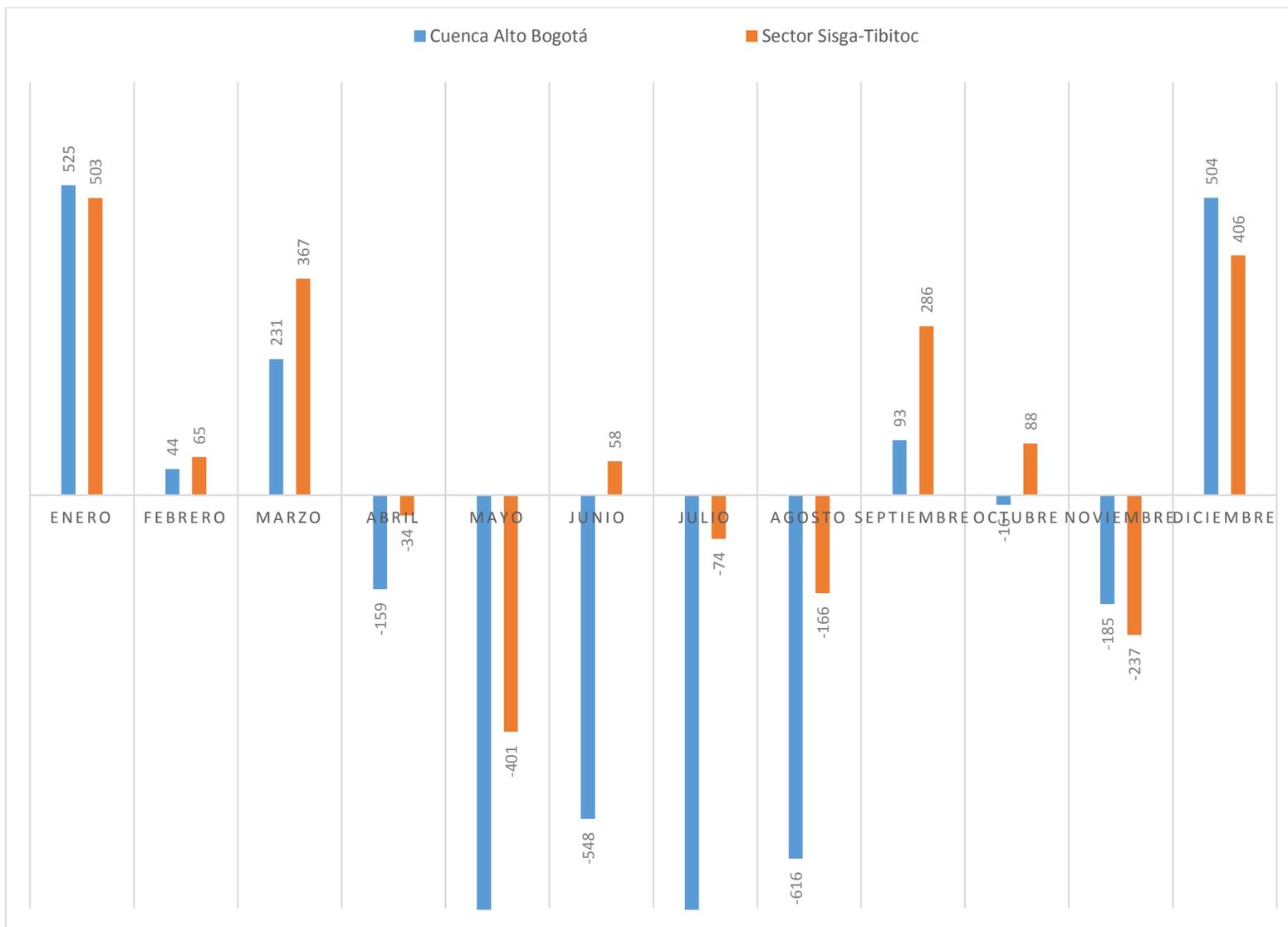
Anexo 10: Necesidad Neta de Riego (m3/Ha), cultivo de Cebada y Trigo - Cuenca Alta del Río Bogotá



Anexo 11: Necesidad Neta de Riego (m3/Ha), cultivo de legumbres - Cuenca Alta del Río Bogotá



Anexo 12: Necesidad Neta de Riego (m³/Ha), cultivo de fresa - Cuenca Alta del Río Bogotá



Anexo 13: Necesidad Neta de Riego (m3/Ha), cultivo de durazno - Cuenca Alta del Río Bogotá

