



UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 2

Neiva, 23 de enero del 2023

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El (Los) suscrito(s):

Brenda Dayan Salgado Salgado, con C.C. No. **1075310733**,

Andres Felipe Mejia Rivas, con C.C. No. **1082216918**

Autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado titulado **DEMANDA HÍDRICA PARA SEIS (6) CULTIVOS EN ZONAS APTAS DE PRODUCCIÓN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA** presentado y aprobado en el año **2023** como requisito para optar al título de **INGENIERA AGRÍCOLA** ;

Autorizo (amos) al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que, con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

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

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

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS**



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

2 de 2

EL AUTOR/ESTUDIANTE: Brenda Dayan Salgado Salgado

Firma: Brenda Salgado

EL AUTOR/ESTUDIANTE: Andres Felipe Mejia Rivas

Firma: Andres Mejia

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA GESTIÓN
SERVICIOS BIBLIOTECARIOS**



DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO

| | | | | | | | |
|---------------|---------------------|----------------|----------|-----------------|-------------|---------------|---------------|
| CÓDIGO | AP-BIB-FO-07 | VERSIÓN | 1 | VIGENCIA | 2014 | PÁGINA | 1 de 4 |
|---------------|---------------------|----------------|----------|-----------------|-------------|---------------|---------------|

**TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO: DEMANDA HÍDRICA PARA SEIS (6) CULTIVOS EN ZONAS
APTAS DE PRODUCCIÓN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA AUTOR O AUTORES:**

| Primero y Segundo Apellido | Primero y Segundo Nombre |
|-----------------------------------|---------------------------------|
| SALGADO SALGADO | BRENDA DAYAN |
| MEJIA RIVAS | ANDRES FELIPE |

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

| Primero y Segundo Apellido | Primero y Segundo Nombre |
|-----------------------------------|---------------------------------|
| BEDOYA CARDOZO | MARLIO |

ASESOR (ES):

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

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: INGENIERA AGRICOLA

FACULTAD: INGENIERIA

PROGRAMA O POSGRADO: AGRICOLA

CIUDAD: NEIVA

AÑO DE PRESENTACIÓN: 2023 NÚMERO DE PÁGINAS: 54

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA GESTIÓN
SERVICIOS BIBLIOTECARIOS**

DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO



| | | | | | | | |
|---------------|---------------------|----------------|----------|-----------------|-------------|---------------|---------------|
| CÓDIGO | AP-BIB-FO-07 | VERSIÓN | 1 | VIGENCIA | 2014 | PÁGINA | 2 de 4 |
|---------------|---------------------|----------------|----------|-----------------|-------------|---------------|---------------|

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):

Diagramas **X** Fotografías___ Grabaciones en discos___ Ilustraciones en general **X** Grabados___
Láminas___ Litografías___ Mapas___ Música impresa___ Planos___ Retratos___ Sin ilustraciones___
Tablas o Cuadros **X**

SOFTWARE requerido y/o especializado para la lectura del documento: Microsoft Word

MATERIAL ANEXO: N/A

PREMIO O DISTINCIÓN (En caso de ser LAUREADAS o Meritoria): N/A

PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

| <u>Español</u> | <u>Inglés</u> | <u>Español</u> | <u>Inglés</u> |
|---------------------------------|------------------------------|----------------|---------------|
| 1. evapotranspiración | evapotranspiration | 6. _____ | _____ |
| 2. demanda hídrica | water demand | 7. _____ | _____ |
| 3. ecuaciones empíricas | empirical equations | 8. _____ | _____ |
| 4. Coeficiente de determinación | coefficient of determination | 9. _____ | _____ |
| 5. _____ | _____ | 10. _____ | _____ |

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

A través de los años el departamento del Huila ha desarrollado una producción agrícola que ha sido enfocada a los cultivos según en el documento Evaluación Agropecuaria, evidenciando un desaprovechamiento en el uso de suelo y los recursos hídricos, para ello es indispensable establecer la cantidad de agua requerida para cada producto. Actualmente el Sistema para la Planificación Rural Agropecuaria (SIPRA) facilita información



UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS

DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO



| | | | | | | | |
|---------------|---------------------|----------------|----------|-----------------|-------------|---------------|---------------|
| CÓDIGO | AP-BIB-FO-07 | VERSIÓN | 1 | VIGENCIA | 2014 | PÁGINA | 3 de 4 |
|---------------|---------------------|----------------|----------|-----------------|-------------|---------------|---------------|

dirigida hacia los municipios con mayor potencial para el aprovechamiento de suelo y delimitación de zonas con aptitudes altas, es decir, con características ideales para el proceso de cosecha. La determinación de la demanda hídrica se efectuó mediante la implementación de las ecuaciones empíricas de evapotranspiración de los autores Thornthwaite (1944), H.F. Blaney and Criddle (1950), Makkink (1957), Hargreaves (1957) y Abstwe (1996) tomando como referencia el simulador Cropwat 8.0, el cual hace uso de la ecuación FAO Penman Monteith (1949), cuya evaluación se realiza mediante el coeficiente determinación R2 para identificar cual demuestra un mayor ajuste. En conclusión, la ecuación de evapotranspiración potencial Hargreaves (1975) presentó un ajuste fuerte en los municipios de Pitalito, San Agustín, Palermo, Tello, Neiva y Garzón. Así mismo, la metodología implementada por el autor Makkink (1957) obtuvo resultados según el coeficiente de determinación fuerte en las zonas correspondientes a Isnos, Campoalegre, Rivera, Acevedo, La Plata, Algeciras y Colombia. Desde otra perspectiva, la fórmula de H.F. Blaney and Criddle (1950) determinar los ajustes nulos en la mayoría de los municipios descartando el uso para estudios relacionados a demanda hídrica.

ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

Over the years, the department of Huila has developed an agricultural production that has been focused on crops according to the Agricultural Evaluation document, evidencing a waste of land use and water resources, for this it is essential to establish the amount of water required for each product. Currently, the System for Agricultural Rural Planning (SIPRA) provides information aimed at the municipalities with the greatest potential for land use and delimitation of areas with high aptitudes, that is, with ideal characteristics for the harvesting process to identify which demonstrates a greater fit. The determination of the water demand was carried out through the implementation of the empirical equations of evapotranspiration of the authors Thornthwaite (1944), H.F. Blaney and Criddle (1950), Makkink (1957), Hargreaves (1957) and Abstwe (1996) taking the Cropwat 8.0 simulator as a reference, which makes use of the FAO Penman Monteith equation (1949), whose evaluation is carried out using the coefficient determination R2. In conclusion, the potential evapotranspiration equation Hargreaves (1975) presented a strong adjustment in the municipalities of Pitalito, San Agustín, Palermo, Tello, Neiva and Garzón. Likewise, the methodology implemented by the author Makkink (1957) obtained results according to the coefficient of strong determination in the areas corresponding to Isnos, Campoalegre, Rivera, Acevedo, La Plata, Algeciras and Colombia. From another perspective, the H.F. Blaney and Criddle (1950)



**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA GESTIÓN
SERVICIOS BIBLIOTECARIOS**

DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO



| | | | | | | | |
|---------------|---------------------|----------------|----------|-----------------|-------------|---------------|---------------|
| CÓDIGO | AP-BIB-FO-07 | VERSIÓN | 1 | VIGENCIA | 2014 | PÁGINA | 4 de 4 |
|---------------|---------------------|----------------|----------|-----------------|-------------|---------------|---------------|

determine the null adjustments in most of the municipalities, ruling out the use for studies related to water demand.

APROBACIÓN DE LA TESIS

Nombre Presidente Jurado:

Firma:

Nombre Jurado: Ms.c John Jairo Arévalo Hernández

Firma:

Nombre Jurado: Armando Torrente Trujillo

Firma:

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.

DEMANDA HÍDRICA PARA SEIS (6) CULTIVOS EN ZONAS APTAS DE PRODUCCIÓN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA

Trabajo de grado presentado al departamento de Ingeniería Agrícola
como requisito para optar al título de: Ingeniero Agrícola

Autores

Brenda Dayan Salgado Salgado: 20151138033

Andrés Felipe Mejía Rivas: 20152142039

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Facultad de Ingeniería

Programa de Ingeniería Agrícola

Neiva, Huila, Colombia. 2022

Director: Marlio Bedoya Cardoso

Codirector:

Nota de aceptación

Jurado: Jhon Jairo Arévalo

Jurado: Armando Torrente Trujillo

DEMANDA HÍDRICA PARA SEIS (6) CULTIVOS EN ZONAS APTAS DE PRODUCCIÓN EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA

RESUMEN

A través de los años el departamento del Huila ha desarrollado una producción agrícola que ha sido enfocada a los cultivos según en el documento Evaluación Agropecuaria, evidenciando un desaprovechamiento en el uso de suelo y los recursos hídricos, para ello es indispensable establecer la cantidad de agua requerida para cada producto. Actualmente el Sistema para la Planificación Rural Agropecuaria (SIPRA) facilita información dirigida hacia los municipios con mayor potencial para el aprovechamiento de suelo y delimitación de zonas con aptitudes altas, es decir, con características ideales para el proceso de cosecha. La determinación de la demanda hídrica se efectuó mediante la implementación de las ecuaciones empíricas de evapotranspiración de los autores Thornthwaite (1944), H.F. Blaney and Criddle (1950), Makkink (1957), Hargreaves (1957) y Abtwe (1996) tomando como referencia el simulador Cropwat 8.0, el cual hace uso de la ecuación FAO Penman Monteith (1949), cuya evaluación se realiza mediante el coeficiente de determinación R^2 para identificar cual demuestra un mayor ajuste. En conclusión, la ecuación de evapotranspiración potencial Hargreaves (1975) presentó un ajuste fuerte en los municipios de Pitalito, San Agustín, Palermo, Tello, Neiva y Garzón. Así mismo, la metodología implementada por el autor Makkink (1957) obtuvo resultados según el coeficiente de determinación fuerte en las zonas correspondientes a Isnos, Campoalegre, Rivera, Acevedo, La Plata, Algeciras y Colombia. Desde otra perspectiva, la fórmula de H.F. Blaney and Criddle (1950) determinar los ajustes nulos en la mayoría de los municipios descartando el uso para estudios relacionados a demanda hídrica.

Palabras clave: evapotranspiración, demanda hídrica, ecuaciones empíricas, coeficiente de determinación.

ABSTRACT

Over the years, the department of Huila has developed an agricultural production that has been focused on crops according to the Agricultural Evaluation document, evidencing a waste of land use and water resources, for this it is essential to establish the amount of water required for each product. Currently, the System for Agricultural Rural Planning (SIPRA) provides information aimed at the municipalities with the greatest potential for land use and delimitation of areas with high aptitudes, that is, with ideal characteristics for the harvesting process to identify which demonstrates a greater fit. The determination of the water demand was carried out through the implementation of the empirical equations of evapotranspiration of the authors Thornthwaite (1944), H.F. Blaney and Criddle (1950), Makkink (1957), Hargreaves (1957) and Abtwe (1996) taking the Cropwat 8.0 simulator as a reference, which makes use of the FAO Penman Monteith equation (1949), whose evaluation is carried out using the coefficient determination R^2 . In conclusion, the potential evapotranspiration equation Hargreaves (1975) presented a strong adjustment in the municipalities of Pitalito, San Agustín, Palermo, Tello, Neiva and Garzón. Likewise, the methodology implemented by the author Makkink (1957) obtained results according to the coefficient of strong determination in the areas corresponding to Isnos, Campoalegre, Rivera, Acevedo, La Plata, Algeciras and Colombia. From another perspective, the H.F. Blaney and Criddle (1950) determine the null adjustments in most of the municipalities, ruling out the use for studies related to water demand

Keywords: evapotranspiration, water demand, empirical equations, coefficient of determination.

INTRODUCCIÓN

El uso adecuado de los recursos naturales cada vez es un tema de mayor relevancia a nivel mundial, en los últimos años el objetivo de cualquier gobierno es generar conciencia a las personas del uso eficiente del agua en cualquier tipo de actividades. Se estima que las actividades agrícolas son las principales responsables de la mayor parte de la demanda hídrica del país (Cañón, 2018), por lo tanto, el aprovechamiento y uso adecuado del agua a través de la determinación de los requerimientos hídricos de los cultivos es una forma de ayudar a mitigar el impacto que genera dicha actividad agrícola en el medio ambiente dada la baja disponibilidad del recurso en la actualidad.

Posiblemente un interrogante que tiene las secretarías de agricultura a nivel departamental y en general la población rural, es conocer si la zona es apta para la siembra de los cultivos y a su vez, si el agua disponible en la zona satisface la necesidad de las actividades agrícolas; en otras palabras si la demanda hídrica para la zona es suficiente para suplir las necesidades de las plantaciones y así esperar a obtener producciones que sean acorde a los requerimientos de la población en el sector.

La evaporación y la transpiración son procesos diferentes, pero ocurren de manera paralela, y diferenciarlos es una tarea complicada para cualquier persona (Giraldo, 2015); una forma de evaluar dichos procesos es llamado evapotranspiración, para ello es necesario instalar lisímetros (drenaje o pesada) o aplicar metodologías, que involucran variables climáticas, medidas en las estaciones meteorológica (Villanueva, 2001)

Para llevar a cabo la determinación de la demanda hídrica requerida en los cultivos es necesario implementar el coeficiente de desarrollo del cultivo (Kc) estudiado y publicado por la Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) el cual se ve “afectado por factores tales como: la morfología y fisiología de la planta, la distribución y respuesta de las estomas del ambiente” (Cleves *et al.*, 2016). La determinación de la demanda hídrica pretende orientar a los agricultores del departamento del Huila sobre la cantidad de agua que debe emplear para los seis (6) cultivos priorizados por el actual gobierno regional; así mismo, generar conciencia sobre el cambio climático que en los últimos años ha tenido un impacto desfavorable para la humanidad en variaciones de la temperatura media (Alarcón, *et al.*, 2019).

La falta de información del uso del suelo en el departamento del Huila por parte de los agricultores posiblemente pueden ocasionar en algunos cultivos una baja producción y como consecuencia pérdidas económicas, por ello, a través de la Unidad para Planificación Rural Agropecuario (UPRA) se ha implementado la herramienta tecnología SIPRA, en ella se establece la aptitud del suelo para el desarrollo de proyectos productivos en zonas altas, media, baja, no apta y exclusión legal, llevando así una información clara para evitar el uso ineficiente de los suelos rurales agropecuarios, procurando conseguir una producción óptima del manejo de tierras agrícolas. Las zonas aptas se determinan según la característica del suelo y su composición nutricional permitiendo así un aprovechamiento de las condiciones adecuadas para el crecimiento de diferentes cultivos. (UPRA, 2018)

La delimitación de las zonas de frontera agrícola realiza un procedimiento a nivel de todo el territorio nacional donde podrán consultar las áreas disponibles para las actividades agrícolas y pecuarias a través del mapa de CORINE Land Cover (CLC) a escala 1: 100.000 (IDEAM, 2010) y áreas de exclusión ambiental y patrimonio arqueológico y considerando los siguientes criterios (UPRA, 2018)

- Coberturas incluidas en la frontera agrícola nacional: “i) territorios agrícolas y, ii) bosques y áreas seminaturales”.
- Coberturas no incluidas en la frontera agrícola nacional: i) bosques y áreas seminaturales, y ii) territorios artificializados.

A través de la Evaluación Agropecuaria 2021, según la secretaría de Agricultura y Minería recolecta toda la información necesaria de interés para los ciudadanos sobre las actividades agropecuarias realizadas a nivel departamental, allí se podrá encontrar base de datos desde consolidados de evaluación agropecuaria de cultivos transitorios, semipermanentes o permanentes en cuanto a la producción hasta cobertura de vacunación para el sector pecuario.

La presente investigación tiene como objetivo general determinar la demanda hídrica para los cultivos de mayor vocación agrícola según el Plan de Desarrollo Departamental 2020-2023 “Huila Crece”, los cuales son café, caña, cacao, aguacate Hass, granadilla y arroz e identificar cual(es) son las mejores ecuaciones empíricas con mayor ajuste según el coeficiente de determinación R^2 con respecto al software libre Cropwat 8.0 programado con la ecuación FAO Penman Monteith 56. Así mismo, se considera el documento de Evaluación Agropecuaria del Huila año 2021, el cual contiene la información sobre la producción por hectáreas de los cultivos permanentes y transitorios, por cada uno de los municipios del departamento, con el fin de establecer las áreas con mayor producción y realizar una comparación con el Sistema de Planificación Rural Agropecuaria (SIPRA), así determinar los municipios que tienen alta, media, o baja aptitud para los cultivos de nombrados anteriormente.

Finalmente, la demanda hídrica de los cultivos mencionados sera calculada con cinco (5) ecuaciones empíricas de evapotranspiración Abtwe (1996), Hargreaves-Samani (1985) Blaney y Criddle (1950), Thornthwaite (1958) y Makkink (1957) que emplean datos climáticos, así establecer cuál de ellas se ajusta mejor a las condiciones climáticas del municipio, para ello se comparó con el simulado Cropwat 8.0 como objetivos específicos; los datos climáticos fueron suministrados por el Instituto Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM).

Teniendo en cuenta los aspectos relacionados anteriormente se plantea la siguiente pregunta de investigación, **¿Cuál(es) son las ecuaciones ideales para estimar la evapotranspiración de referencia que presenta un mayor ajuste para los cultivos con un potencial según evaluación agropecuaria en el departamento del Huila?**

Cada uno de los cultivos direccionados por la evaluación agropecuaria pueden tener características especiales de siembra, por lo tanto, es relevante conocer las variables establecidas por los diferentes

autores, para obtener rendimientos y producciones favorables para la agricultura; para ella se podrán tener en cuenta características climáticas como se evidencian a continuación:

La variedad de aguacate Hass fue patentada en 1935 por Rudolph Hass, en Habrá Height (California), en virtud de la calidad de su producción, alto rendimiento y maduración, comparado con otras variedades importantes para la época (Whiley *et al.*, 2002). Según ICA, 2012 “Se adapta a condiciones subtropicales, con temperaturas de 5 a 19 °C y alturas entre los 1.800 y 2.000 m.s.n.m.”

Según Infoagro, “la temperatura cumple un papel regulador en su desarrollo, se necesitan mínimo de 10 a 13 °C para la germinación.”. Según Agro-tendencia “El crecimiento del tallo, hojas y raíces tiene un mínimo exigible de 7 °C, considerándose su óptimo en los 23 °C”. Es considerable dar un buen acondicionamiento al momento de cultivar para así poder llevar a una buena producción y poder desarrollarlo en las zonas óptimas del departamento del Huila.

En el cultivo de cacao teniendo en cuenta la información suministrada por el portal Infoagro, su principal cuidado se centra en las precipitaciones y temperaturas ambiente más que en la radiación solar debido a que es un cultivo que particularmente crece bajo sombra sobre todo a inicios de su desarrollo por el hecho de protegerla de la radiación solar directa y de los vientos, “ya en una etapa adulta se podrá reducir por lo menos en 25%. Para el 2021, se proyecta un crecimiento del 3% en el sector cacaotero, llegando a las 193.953 ha y 65.175 toneladas” (MADR, 2021) estimación superada según la Federación Nacional de Cacaoteros rompiendo récord con 70.205 toneladas distribuidas en 189.185 ha a nivel nacional.

“Entre 2016 y 2020, el sector disminuyó el área cafetera en zonas consideradas no competitivas (condiciones de suelo y clima no aptas).” (MADR, 2021) El departamento del Huila cuenta en 84.709 número de caficultores distribuidos en 100.916 fincas productoras de café.

La caña de azúcar según el Ministerio de agricultura y ganadería. San José, Costa Rica. 1991, “para su crecimiento óptimo se requiere altas temperaturas y bajas temperaturas durante el período de maduración. Mientras más grande sea la diferencia entre las temperaturas máximas y mínimas durante la maduración mayores serán las posibilidades de obtener jugos de alta pureza y un mayor rendimiento de azúcar.”

Según Agronegocios “La granadilla es originaria de América tropical y se halla dispersa desde México a través de centro américa, en las Antillas y Sudamérica, teniendo como localidad tipo al Perú, entre los 900 y 2700 msnm.”

DEMANDA HÍDRICA

Se refiere principalmente al consumo de agua requerido por una planta en el momento de su desarrollo a través de las diferentes etapas de su fisiología vegetal igualmente “con el suelo sin deficiencia de agua desarrollándose en condiciones controladas de sanidad y fertilidad”, la manera de resolver la demanda hídrica es haciendo uso de la evapotranspiración del cultivo de referencia

(ET_o) en condiciones estándar y el coeficiente hídrico (K_c) de cada cultivo; este último está sujeto a algunos factores para su determinación (Villanueva et al., 2017).

EVAPOTRANSPIRACIÓN

“La evaporación es el resultado del proceso físico por el cual el agua cambia de estado líquido a gaseoso, retornando directamente a la atmósfera en forma de vapor” algunos elementos de la naturaleza proporcionan la energía suficiente para llevar a cabo este procedimiento. (Lopez, 2011). “La transpiración consiste en la vaporización del agua líquida contenida en los tejidos de la planta y su posterior remoción hacia la atmósfera” (Allen *et al.*, 2006). La evaporación y la transpiración ocurren simultáneamente y no hay una manera sencilla de distinguir entre estos dos procesos; como se ve reflejado en la figura 1. Sin tener en cuenta la disponibilidad de agua en los horizontes superficiales, “la evaporación de un suelo cultivado es determinada principalmente por la fracción de radiación solar que llega a la superficie del suelo” (Allen et al., 2006) además es determinada por el índice de área foliar que evidentemente es menor a inicios de la siembra de cultivo también por lo cual esta fracción disminuye a lo largo del ciclo del cultivo a medida que el dosel del cultivo proyecta más y así da paso a una mayor actividad de la transpiración cuando el cultivo se encuentra en el tiempo de cosecha.

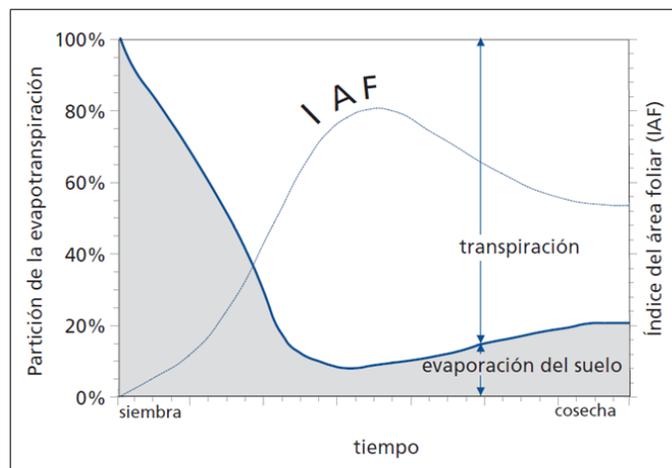


FIGURA 1: Evolución de la evaporotranspiración durante el periodo de crecimiento de un cultivo anual. Fuente: Allen et al., (2006)

“La evaporotranspiración se expresa en milímetros (mm) por unidad de tiempo. Esta unidad expresa la cantidad de agua perdida por una superficie cultivada en unidades de altura de agua.” (Cleves et al., 2016). La evaporotranspiración se encuentra afectada por diversos factores como manejo y condiciones climáticas, que consisten básicamente en todo aquello que pueda perjudicar al cultivo en la superficie, manejo limitado de fertilizantes o problemas de salinidad; otro factor son las condiciones climáticas, un ejemplo consta de la presión de vapor o temperaturas del aire y por últimos las condiciones que afectan los cultivos depende principalmente de estos, el tipo de cultivo, la etapa fenológica que se encuentra, características de la planta, grosor de tallo, follaje y reflejo de la superficie (Allen *et al.*, 2006)

ESTADO DEL ARTE

Aproximadamente una tercera parte de la superficie terrestre está dedicada a la agricultura ejerciendo presión hacia el uso adecuado del suelo para la producción de alimentos de calidad hacia la población rural (Burbano, 2016) y el uso eficiente del recursos hídrico, en este caso se basa en el uso racional del agua para la demanda hídrica necesaria en cada cultivo, esta puede ser obtenida a través de métodos directos que básicamente consisten en su medición con instrumentos especializados para su determinación llamados lisímetros o a través de métodos indirectos, los cuales son metodologías que han generado ecuaciones empíricas, que emplean variables climáticas medidas en las estaciones meteorológicas (Villanueva, *et al.*, 2001)

En Suramérica la investigación realizada en la ciudad de Buenos Aires, Argentina denominada “Evaluación de métodos de estimación de la evapotranspiración a escala mensual y anual en Argentina” por Ocampo, D. y Rivas, R. en el año 2011, consistió en evaluar mediante tres métodos Priestley y Taylor, Turc y Hargreaves la evapotranspiración estimada en zonas de clima árido, semiárido y húmedo en relación con la metodología de referencia planteada por FAO Penman Monteith. Concluyendo que, en zonas áridas y semiáridas la ecuación de Hargreaves presentó los mejores ajustes y en zonas húmedas en primera instancia la metodología de Priestley y Taylor y en segundo lugar a Turc. Las metodologías planteadas son de baja complejidad con valores de entradas como temperatura máxima y mínima.

Por otra parte, el estudio en 2017 realizado por la Universidad de Central del Ecuador por Ortiz, R y Chile, M. nombrado “Métodos de cálculo para estimar la evapotranspiración de referencia para el valle de Tumba” en Ecuador, realizó la evaluación de nueve metodologías (FAO56, Tanque evaporímetro, Thornthwaite modificado, Hargreaves, Jensen-Haise, Makkink, Priestley-Taylor, Turc y FAO Radiación) tomando como referencia a FAO 56 con información suministrada por la estación de La Tola y de manera mensual. El análisis se realizó mediante el proceso de error medio absoluto, coeficiente de concordancia, coeficiente de confiabilidad y coeficiente de determinación; concluyendo así: la ecuación de FAO 56 registró los valores más confiables para dicha investigación, seguida de FAO Radiación, con resultados moderados clasificó Jensen and Haise, Makkink y Priestley and Taylor y finalmente con los valores menos favorables fue tanque evaporímetro, Thornthwaite modificado, Hargreaves y Turc.

Considerando el territorio nacional, exactamente en el departamento de Caldas en su capital Manizales se efectuó la investigación “Estimación y análisis de la evapotranspiración de referencia en el municipio de Manizales” por Calderón, la cual a través del comportamiento de las metodologías para la determinación de la evapotranspiración potencial encontramos a Turc modificado, Priestley y Taylor, Thornthwaite y García y López con respecto al método de FAO Penman – Monteith considerado como un estándar para la estimación de esta variable. La información climatológica contó con 10 estaciones y evaluación sus resultados mediante indicadores estadísticos infiere que las metodologías de Thornthwaite y García y López obtuvieron el comportamiento más desfavorable de la investigación; por lo tanto, la ecuación de Turc modificado, Priestley y Taylor indicaron los ajustes perfectos para las condiciones de la zona.

A nivel regional se llevo a cabo un proyecto realizado por Giraldo en 2015 en el departamento del Huila, denominado “Identificación y selección de una o más fórmulas empíricas de evapotranspiración potencial para el departamento del Huila” consistió en la aplicación de las fórmulas empíricas de Blanney y Criddle, Hargreaves, Thornthwaite y Penman-Monteith en zonas

cálidas, medio y húmedas en comparación a la evaporación del tanque clase A. En conclusión, la zona correspondiente a clima cálido fue la fórmula de Penman-Monteith evidencia los mejores resultados, en la zona de climas medios al igual que en la zona de climas húmedos, el autor Thornthwaite evidencio el mayor ajuste.

MATERIALES Y MÉTODOS

Estrategia en la agricultura y desarrollo rural en departamento del Huila

La identificación de los seis (6) cultivos se realizó a través del Plan de Desarrollo Departamental 2020-2023 “Hula Crece”, en este documento se evidencia las estrategias a implementar por las entidades gubernamentales en cada una de las secretarías de gobierno para llevar a cabo el aumento de la productividad de los pequeños y medianos agricultores a través de dichos cultivos que presentan mayor vocación a nivel departamental y donde ellos proyectan mejores beneficios tanto al productor como a los consumidores.

Así mismos, se debe tener en cuenta que el departamento del Huila posee aproximadamente un 42.2% del total de área del departamento dirigida a la vocación agrícola (PEA, 2005), por lo tanto, es necesario crear un planteamiento donde su pueda llevar a cabo actividades agropecuarias y ejecutar estrategias para mejorar la producción agrícola en el departamento principalmente a aquellas zonas aptas e igualmente lo que se busca es implementar el ordenamiento de la frontera agrícola.

Evaluación agropecuaria del departamento del Huila

La evaluación agropecuaria del departamento del Huila cuenta con los datos obtenidos a través del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural que da una idea referente a la producción anual que presentan los cultivos anuales, transitorios y permanentes además presentan registros a nivel agrícola, ganadero, forestal y acuícola en todo el país; seleccionamos los registros de los municipios que presentan mayor producción anual de los productos estratégicos presentados por la gobernación del Huila.

Acondicionamiento del área de estudio

A través de La Unidad Planificación Rural (UPRA) implementan el portal SISTEMA PARA LA PLANIFICACIÓN RURAL Y AGROPECUARIA (SIPRA), el cual es considerada el primer visor geográfico del sector agropecuario de Colombia con más de dos mil conjuntos de datos de instituciones públicas y privadas y contiene variables como área cosechada, área sembrada, producción, rendimiento del cultivo, infraestructura agropecuaria municipal, calendarios de siembra y otros. El principal objetivo del portal es orientar al consumidor del uso eficiente del suelo a través de la información integral suministrada por la entidad encargada y así regir la estrategia con mayores beneficios para el departamento. El producto final de la evaluación son mapas de zonificación del territorio que determinan zonas de alta, mediana aptitud y zonas de usos condicionados o con exclusiones técnicas o legales” (UPRA, 2019).

Datos climatológicos del departamento del Huila

La información climatológica para realizar los cálculos de las ecuaciones empíricas de evapotranspiración potencial de referencia se obtuvo del Banco de datos del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) y contó con un promedio de los últimos quince (15) años; para el caso de estaciones con registros menores de quince (15) años, se tomó los datos de los años disponibles. La escala de los datos climáticos fue mensual. Los datos implementados están relacionados en el numeral anexo 2.1 hasta el anexo 2.13 donde especifican las variables meteorológicas como nombre de la estación, tipo de estación, código de estación, elevación, latitud y longitud.

Ecuaciones empíricas de evapotranspiración potencial de referencia

El uso de las ecuaciones de evapotranspiración potenciales determina los resultados adecuados para la selección o identificación del método idóneo para el manejo apropiado del recurso hídrico, en la cual, los diferentes autores establecen conjunto de variables que buscan estimar un valor para luego ser evaluado y analizado a lo establecido por simulador Cropwat 8.0 como ecuación de referencia.

La metodología más empleada para determinar ETo es la propuesta por Penman Monteith-FAO, sin embargo, requiere de la medición de variables climáticas que no se registran en todas las estaciones meteorológicas, por lo anterior, se requiere de una metodología que utilice menos variables climáticas y que arroje buenos resultados

El software libre CROPWAT tiene programada la ecuación de FAO Penman Monteith, y requiere de datos como la longitud, latitud, altitud, país y variables como temperatura máxima, mínima, humedad relativa, y radiación solar entre otras, para obtener la evapotranspiración de referencia (ETo) milímetros, mensuales, decadiarias o diarios.

ECUACIÓN DE THORNTHWAITE (1948)

Es la fórmula para calcular la evapotranspiración relacionando los resultados experimentales de la evapotranspiración con los datos de temperatura promedio mensual, parámetros que son relevantes, ya que ambos dependen de la radiación de la red. Fue propuesto en 1948. El método no es preciso en zonas áridas, ya que utiliza la temperatura en lugar de la radiación neta, que tiene una relación física más directa con la posible evapotranspiración propuesto por Allen, R; Pereira, L; Raes, D; Smith, M. (2006) y su expresión está descrita por la ecuación 1.

$$ETP = 1,6 * K_j \left[\frac{10T_a}{I} \right]^a \quad J = \sum_{i=1}^{12} \left[\frac{T_{aj}}{5} \right]^{1,5} \quad (\text{Ecu. 1.})$$

$$a = 0,49 + 0,0179J - 0,0000771J^2 + 0,000000675J^3$$

K_i: Factor de corrección (Anexo 1)

T_i: Temperatura media mensual del aire para el mes i (°C)

J: Índice de calor anual

a: Exponente en función del índice de calor anual

El índice de calor anual J se calcula a partir de las temperaturas medias de los doce (12) meses.

ECUACIÓN DE HARGREAVES (1975)

Esta ecuación permite el cálculo de la evapotranspiración potencial en función de la temperatura, el brillo solar y el coeficiente mensual de luz solar. Hargreaves es un método alternativo para el cálculo de la evapotranspiración propuesto por Allen et al (2006) y su expresión está descrita en la ecuación 2:

$$ETO = 0,0023 * R_a * (T_{media} + 17,78) * (T_{max} - T_{min})^{0,5} \quad (\text{Ecu. 2.})$$

R_a: Radiación Extraterrestre (mm d⁻¹)

T_{media}: Temperatura Media (°C)

T_{maxima}: Temperatura máxima (°C)

T_{min}: Temperatura mínima

ECUACIÓN DE H.F. BLANEY AND W.D. CRIDDLE (1950)

La ecuación expresada por el autor Blaney, H. and Criddle, W., (1950), se realizó una fórmula que permite estimar la cantidad de agua que necesita para el riego del lote, su método está en función de la temperatura, horas de luz y de la cubierta vegetal. El método original, desarrollado en 1942 por Blaney and Morín, fue modificado por Blaney and Criddle en 1945 y 1950, la fórmula para el cálculo de la evapotranspiración potencial como se expresa en la ecuación 3:

$$ETP = P(0,46 * T_m + 8) \quad (\text{Ecu. 3.})$$

ETP: Evapotranspiración potencial (mm/día)

T_m: Temperatura media diaria (°C)

P: % diario de hora de luz del mes, respecto al total anual.

ECUACIÓN MAKKINK (1957)

Makkink (1955) mostró que la curva de los valores mensuales calculados según Thornthwaite concuerda con la evapotranspiración potencial observada solo después de la aplicación de una corrección por un desfase temporal y la velocidad del viento. No se puede esperar que ningún método basado solo en la temperatura mensual dé resultados confiables para diferentes regiones. Recientemente, Makkink (1957) publicó una fórmula de correlación con la radiación entrante y la temperatura del aire, (Abtey y Melesse, 2013) y se describe la ecuación 4 de la siguiente manera.

$$ET = 0,61 \frac{\Delta R_s}{(\Delta + \gamma)\lambda} \quad (\text{Ecu. 4.})$$

Rs: Radiación

Δ: Es la pendiente de la curva de presión de vapor de saturación frente a la temperatura del aire (kPa °C⁻¹)

Y: Constante psicrométrica (kPa °C⁻¹)

ECUACIÓN ABSTWE (1996)

El método simple requiere un único parámetro medido, la radiación solar, y está menos sujeto a variaciones locales. El método simple también es citado como ecuación de Abstwe simple en la literatura (Abstwe, y Melesse 2013) expresada en por la ecuación 5.

$$ET = K_1 \frac{R_s}{\lambda} \quad (\text{Ecu. 5.})$$

K₁= Coeficiente 0,53

R_s= Radiación solar (MJ m⁻² d⁻¹)

λ= Calor latente de vaporización (MJ Kg⁻¹)

Demanda hídrica de cultivos con mayor vocación

Para llevar a cabo el cálculo de la evapotranspiración del cultivo (ET_c) es necesario multiplicar la evapotranspiración de referencia (ET_o) que fue medida anteriormente a través de metodologías empíricas de diferentes autores junto con el coeficiente de cultivo (K_c) el cual es un valor adimensional establecido en tablas de los documentos registrados por la FAO como medida de valoración a las características de cada cultivo, ya que son diferentes dependiendo la etapa fenológica que se encuentre el cultivo al momento de realizar la estimación de su necesidad hidrológica. (Ecuación 6).

Los valores estimados de K_c de los cultivos de aguacate, arroz, cacao, café y caña de azúcar fueron tomados de la denominada “valores del coeficiente único del cultivo” en la literatura de FAO 56 con alturas medias máximas en cultivos no estrados y bien manejados en climas subhúmedos con una humedad relativa de 45% y con una velocidad del viento a dos metros del suelo correspondiente a 2 m/s (Allen *et al.*, 2006) con un valor de coeficiente único del cultivo medio (K_{Cmed}). Para el cultivo de granadilla según la literatura Torrente se estimó una etapa inicial de 90 días obteniendo

La determinación del coeficiente único depende de algunas variables como diferencias de morfología de la planta y la fisiología vegetal así mismo por la distribución y respuesta de las estomas del ambiente (Cleves, *et al.*, 2016) también expresa la diferencia entre la evapotranspiración de la superficie cultivada y la superficie del pasto de referencia

$$ET_c = ET_o \times K_c \quad (\text{Ecu. 6.})$$

ET_o = Evapotranspiración de referencia (mm/día)

K_c = Coeficiente hídrico del cultivo (adimensional)

ET_c = Evapotranspiración potencial del cultivo o demanda hídrica (mm/día)

La demanda hídrica está dirigida a los cultivos propuestos por el Plan de desarrollo departamental para los tres principales municipios seleccionados en el departamento del Huila.

Implementación de modelo de simulación CROPWAT 8.0 como referencia

Cropwat 8.0 es un modelo de simulación agroclimática de uso libre creado por FAO para ayudar a identificar las opciones óptimas de siembra de un cultivo y permitir calcular los requerimientos de agua del cultivo para diferentes usos como planificación del calendario de riego teniendo en cuenta la disponibilidad de agua en el suelo para la planta también permite identificar un valor de referencia de evapotranspiración (Zelaya, *et al.* 2021).

La aplicación del modelo Cropwat 8.0 tiene como finalidad ser la variable independiente, ya que cuenta con la formula FAO Penman Monteith, es decir, la mejor alternativa con ventaja sobre las demás fórmulas para el cálculo de la evapotranspiración potencial (Guevara, 2006) y así realizar una comparación e identificar el mejor ajuste teniendo en cuenta el coeficiente de determinación.

ECUACIÓN DE FAO PENMAN-MONTEITH (1948)

En 1948, Penman combinó el balance energético con el método de la transferencia de masa y derivó una ecuación para calcular la evaporación de una superficie abierta de agua a partir de datos climáticos estándar de horas solares, temperatura, humedad atmosférica y velocidad de viento. Este método conocido como combinado fue desarrollado por un panel de expertos e investigadores en riego, fue organizado por la FAO, en colaboración con la comisión internacional para el riego y drenaje y con la organización meteorológica mundial, con el fin de revisar las metodologías previamente propuestas por la FAO para el cálculo de los requerimientos de agua de los cultivos y para elaborar recomendaciones sobre la revisión y la actualización de procedimientos a este respecto.

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad (\text{Ecu. 7})$$

ETP: Evapotranspiración de referencia (mm día⁻¹)

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

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

T: Temperatura del Viento a 2 metros de altura (° C)

U₂: Velocidad del viento a 2 metros de altura (m s⁻¹)

e_s: Presión de vapor de saturación (kPa)

e_s-e_a: déficit de presión de vapor (kPa)

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

Y: Constante psicrométrica (kPa °C⁻¹)

Para llevar a cabo el proceso de estimación de ET_0 en el programa informático es indispensable contar con las coordenadas geográficas (latitud y longitud) y de la distancia vertical en relación con el nivel del mar del lugar donde se pretende estimar la disponibilidad hídrica, los valores correspondientes a Temperatura máxima, Temperatura mínima, humedad relativa, velocidad del viento a dos metros de la superficie y radiación neta. Los datos pueden ser ingresados al software en escala diaria, decadiaria o mensula para estimar ET_0 .

Evaluación resultados mediante coeficiente de determinación (R^2)

El coeficiente de determinación (R^2) es un método para el cálculo de regresiones lineales simples. En la cual, existe una sola variable independiente que está relacionada con la evapotranspiración estimada a partir de la evapotranspiración real, ocasionando el cálculo de una función lineal.

$$Y = B_0 + B_1X \quad (\text{Ecu. 8})$$

En la ecuación 8 (Y) es la variable dependiente y (X) es la variable independiente. El termino B_0 es la ordenada en el origen e indica el valor de la variable dependiente cuando $X=0$. El termino B_1 es el coeficiente de regresión lineal el cual indica el incremento de la variable dependiente por cada unidad de aumento en la variable independiente (Sagarón, N. & Macías, M. 2005).

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

$$R^2 = \frac{[(\sum_{i=1}^n x_i * y_i) - (\sum_{i=1}^n x_j) * (\sum_{i=1}^n y_j)]^2}{(n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_j)^2)(n \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_j)^2)} \quad (\text{Ecu.8})$$

Y_i es el valor simulado y corresponde al valor en (Y) de cada par de observaciones $(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3) \dots (x_i, y_i)$. (x_i) es el valor observado y corresponde al valor en (X) de cada par de observaciones mencionados anteriormente. El coeficiente de determinación puede interpretarse como un indicador de la proporción en la variabilidad total de la variable dependiente (Y) que se debe al efecto de la variable independiente (X). Cuando (R^2) es igual a 1 significa que existe un ajuste lineal perfecto entre las variables, es decir que la variación total de la variable (Y) está definida por el modelo de regresión. Por otro lado, cuando (R^2) toma el valor de cero indica que el modelo de regresión no explica nada de la variación total de la variable (Y) (Caballero, 1981).

Algunos autores proponen los rangos que se muestran en la tabla 1 para la interpretación del coeficiente de determinación (R^2). Estos rangos han sido tomados como referencia para determinar las condiciones en la que se encuentra las ecuaciones estimadas y las ecuaciones teóricas.

Tabla 1. Rango de interpretación para el coeficiente de determinación R^2

| Coeficiente de determinación (R^2) | Relación entre las variables analizadas |
|--|--|
| 0,00 – 0,25 | Escasa o nula |
| 0,26 – 0,50 | Débil |
| 0,51 – 0,75 | Moderada |
| 0,76 – 1,00 | Perfecta |

Fuente: (Sagarón, N. & Macías, M. 2005).

Emplear el coeficiente de determinación (R^2) como método estadístico para valorar los resultados de la demanda hídrica por cultivos y a su vez por municipios refiere a la idea de generalizar y facilitar la interpretación de los resultados y además fueron programado mediante Excel con líneas de tendencia y comportamiento registradas en graficas presentes en los anexos 3.1 hasta 3.18.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Zonas óptimas del sistema para la planificación rural agropecuaria (SIPRA)

Según SIPRA, los municipios con mayor vocación en el departamento del Huila para llevar a cabo las estrategias del plan de desarrollo son los siguientes: Acevedo, Algeciras, Campoalegre, Colombia, Garzón, Isnos, La Plata, Neiva, Palermo, Pitalito, Rivera, San Agustín y Tello estos están determinados por la frontera agrícola en las zonas aptas que corresponden a las altas, medias y bajas del área total de los municipios. De igual manera los datos suministrados por la Evaluación Agropecuaria 2021 en el departamento del Huila, determinan la producción por hectárea de cada uno de los cultivos de todos los municipios y así mismo obtener el área correspondiente para el cultivo.

AGUACATE HASS

En la tabla 2, se observa la producción de aguacate Hass según la evaluación agropecuaria del 2021, donde se refleja un desaprovechamiento de hectáreas de las zonas óptimas de los municipios en comparación al sistema para la planificación rural agropecuaria (SIPRA) en el cual, brinda la totalidad de hectáreas aptas en las condiciones requeridas para la producción del cultivo de aguacate Hass.

TABLA 2. Zonas óptimas para el cultivo de aguacate Hass.

| SIPRA | | Evaluación Agropecuaria 2021 | |
|-------------|-----------|------------------------------|-----------|
| Municipio | Área (Ha) | Municipio | Área (Ha) |
| Pitalito | 20.761 | Isnos | 655,21 |
| Isnos | 18.968 | Pitalito | 329,5 |
| San Agustín | 18.933 | San Agustín | 101,49 |

ARROZ

En la tabla 3, se determina las hectáreas de zonas aptas para la siembra de arroz, donde se encuentra que Campoalegre solo cultiva 5.987 ha con una ampliación de terreno óptimo de 16.063 ha. Por lo tanto, el uso de los suelos para el cultivo de arroz no ha sido aprovechado teniendo en cuenta los datos que registra el SIPRA.

TABLA 3. Zonas óptimas para el cultivo de arroz.

| SIPRA | | Evaluación Agropecuaria 2021 | |
|------------------|------------------|-------------------------------------|------------------|
| Municipio | Área (Ha) | Municipio | Área (Ha) |
| Campoalegre | 16.063 | Campoalegre | 5.986,84 |
| Palermo | 11.898 | Palermo | 3.761,58 |
| Tello | 363 | Tello | 877,58 |

CACAO

En la tabla 4, Las áreas también llamadas zonas aptas donde se incluyen los sectores con aptitud alta, media y baja con valores como los que se evidencia en la tabla teniendo a los municipios con mayor porcentaje 40, 27 y 18 % del área total del municipio para Rivera, Tello y Neiva respectivamente y comparando la evaluación agropecuaria correspondiente al año 2021 donde los valores son muy inferiores. La producción correspondiente a las áreas sembradas para el cultivo de cacao ubica el departamento del Huila en 5 productor a nivel nacional con una participación del 8% al igual a Arauca (MADR, 2021)

TABLA 4. Zonas óptimas para el cultivo de cacao.

| SIPRA | | Evaluación Agropecuaria 2021 | |
|------------------|------------------|-------------------------------------|------------------|
| Municipio | Área (Ha) | Municipio | Área (Ha) |
| Rivera | 11.687 | Rivera | 904,14 |
| Tello | 14.760 | Tello | 579,16 |
| Neiva | 21.581 | Neiva | 504 |

CAFÉ

En la tabla 5, se analiza el documento de evaluación agropecuaria 2021, donde se refleja que el municipio de Pitalito tiene un área de producción alrededor de 13.827 hectáreas ubicándola en el primer productor y el Sistema para la Planificación Rural Agropecuaria (SIPRA) manifiesta un hectareaje mayor con zonas óptimas alrededor de 47.217 Ha. ubicándola en el segundo lugar.

TABLA 5. Zonas óptimas para el cultivo de café

| SIPRA | | Evaluación Agropecuaria 2021 | |
|------------------|------------------|-------------------------------------|------------------|
| Municipio | Área (Ha) | Municipio | Área (Ha) |
| Pitalito | 47.217 | Pitalito | 13.827 |
| Acevedo | 24.603 | Acevedo | 10.882 |
| La Plata | 51.784 | La Plata | 9.097 |

CAÑA DE AZUCAR

En la tabla 6, se presenta una diferencia de hectáreas cultivadas en las zonas óptimas de los municipios Isnos, San Agustín y Neiva teniendo en cuenta los porcentajes según el área del municipio es 37, 7.6 y 37.5 respectivamente para el portal de SIPRA. Aunque el Huila no es uno

de los principales productores en Colombia, el actual gobierno tiene la intención de impulsarlo y obtener ganancias favorables y mayores oportunidades para la población.

TABLA 6. Zonas óptimas para el cultivo de caña.

| SIPRA | | Evaluación Agropecuario 2021 | |
|-------------|-----------|------------------------------|-----------|
| Municipio | Área (Ha) | Municipio | Área (Ha) |
| Isnos | 13.984 | Isnos | 2.473 |
| San Agustín | 10.361 | San Agustín | 860 |
| Neiva | 43.777 | Neiva | 272 |

GRANADILLA

La estimación de los resultados en la tabla 7, muestra las hectáreas aprovechadas y las zonas óptimas para la siembra, desarrollo y producción del cultivo de granadilla. Donde se encuentra que Garzón genera una cantidad elevada de suelos con condiciones ideales para la adecuación de este cultivo según el sistema para la planificación rural agropecuaria (SIPRA) y actualmente conserva una aptitud total del 45% de las hectáreas aptas para este producto.

TABLA 7. Zonas óptimas para el cultivo de granadilla.

| SIPRA | | Evaluación Agropecuaria 2021 | |
|-----------|-----------|------------------------------|-----------|
| Municipio | Área (Ha) | Municipio | Área (Ha) |
| Algeciras | 14.957 | Algeciras | 155 |
| Colombia | 23.402 | Colombia | 51,5 |
| Garzón | 27.466 | Garzón | 52 |

Evaluación de la demanda hídrica en los cultivos de aguacate Hass, arroz, cacao, café, caña de azúcar y granadilla en los principales municipios del departamento del Huila.

AGUACATE HASS

El aguacate Hass presento unos estándares de siembra especiales, por lo tanto, es necesario contar con las condiciones climáticas óptimas para el crecimiento y desarrollo de la plántula y así considerar una mejor producción, para esto se debe tener en cuenta el coeficiente de cultivo (K_c) que bajo condiciones estándares según FAO presenta un coeficiente medio de 0,85 para este tipo de cultivo.

DEMANDA HÍDRICA EN EL MUNICIPIO DE ISNOS

En la tabla 8, se reflejó los resultados de diferentes autores, teniendo como referencia el valor proporcionado por el software Cropwat 8.0. Observando que las metodologías de Makkink (1957) y Abtew (1996) arrojaron ajustes fuertes ($R^2= 0,978$ y $R^2= 0.960$ respectivamente) cercano al calculado por el software, por otro lado, la ecuación de H.F. Blaney and W.D. Criddle (1950) presenta un coeficiente de determinación ($R^2= 0,435$) con relación nula, por lo tanto, es la ecuación que no se debe tener en cuenta para el cálculo de la demanda hídrica en el municipio de Isnos.

TABLA 8. Demanda hídrica de aguacate Hass en el municipio de Isnos

| Demanda hídrica (mm/mes) | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | R ² |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------|
| Cropwat 8.0 | 90,2 | 82,1 | 89,8 | 86,2 | 81,4 | 71,9 | 75,2 | 85,7 | 88,9 | 93,8 | 83,0 | 85,5 | 1,000 |
| Thorntwaite (1944) | 60,8 | 52,7 | 61,4 | 60,8 | 57,1 | 49,9 | 51,4 | 50,9 | 54,4 | 61,4 | 59,0 | 57,8 | 0,537 |
| Hargreaves (1975) | 84,1 | 72,4 | 75,9 | 71,9 | 68,8 | 62,7 | 65,7 | 81,1 | 83,3 | 87,8 | 69,2 | 75,4 | 0,814 |
| H.F. Blaney and W.D. Criddle (1950) | 118,4 | 105,5 | 118,4 | 114,6 | 115,1 | 108,2 | 111,8 | 111,8 | 111,4 | 118,4 | 114,6 | 116,7 | 0,435 |
| Makkink (1957) | 88,3 | 82,4 | 90,8 | 86,8 | 81,5 | 73,2 | 77,4 | 84,8 | 89,0 | 92,5 | 84,2 | 85,7 | 0,978 |
| Abstwe (1996) | 107,8 | 101,4 | 110,9 | 106,0 | 101,2 | 92,4 | 97,7 | 107,0 | 110,4 | 113,0 | 102,8 | 105,5 | 0,960 |

DEMANDA HÍDRICA EN EL MUNICIPIO DE PITALITO

En la tabla 9, se realizó la evaluación de los resultados de la demanda hídrica del cultivo donde las ecuaciones de Hargreaves (1975) y Makkink (1957) presenta un ajuste perfecto ($R^2=0,867$ y $R^2=0,831$ respectivamente), así la metodología que no se debe emplear es la de Blaney y Criddle (1950) por tener un ajuste nulo ($R^2=0,177$).

TABLA 9. Demanda hídrica de aguacate Hass en el municipio de Pitalito

| Demanda hídrica (mm/mes) | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | R ² |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------|
| Cropwat 8.0 | 100,9 | 96,1 | 102,9 | 97,5 | 97,5 | 87,9 | 90,7 | 95,4 | 104,8 | 107,5 | 101,5 | 104,8 | 1,000 |
| Thorntwaite (1944) | 68,7 | 63,7 | 67,1 | 67,6 | 71,0 | 66,0 | 66,4 | 65,1 | 65,1 | 70,1 | 68,5 | 75,2 | 0,223 |
| Hargreaves (1975) | 104,3 | 103,2 | 109,2 | 103,2 | 107,3 | 95,5 | 97,3 | 97,9 | 114,7 | 116,9 | 114,0 | 115,8 | 0,867 |
| H.F. Blaney and W.D. Criddle (1950) | 126,6 | 114,8 | 125,6 | 122,0 | 126,4 | 121,1 | 124,4 | 124,1 | 121,2 | 126,9 | 123,3 | 129,3 | 0,177 |
| Makkink (1957) | 90,5 | 85,3 | 92,6 | 88,6 | 84,7 | 76,9 | 81,1 | 88,7 | 92,0 | 94,9 | 86,6 | 89,7 | 0,831 |
| Abstwe (1996) | 108,2 | 101,8 | 111,2 | 106,2 | 101,4 | 92,7 | 97,9 | 107,3 | 110,7 | 113,3 | 103,2 | 106,0 | 0,761 |

DEMANDA HIDRICA EN EL MUNICIPIO DE SAN AGUSTIN

Los datos reflejados en la tabla 10, se muestra que las dos ecuaciones que presenta el ajuste más fuerte son la de Hargreaves (1975) y Makkink (1957) con coeficientes de determinación (R^2) por encima de 0.90. Dejando así la ecuación de H.F. Blaney and W.D. Criddle (1950) con unos resultados de ajuste nulo a los valores reales, tomando como referencia los resultados obtenidos con el Cropwat 8.0.

TABLA 10. Demanda hídrica de aguacate Hass en el municipio de San Agustín

| Demanda hídrica (mm/mes) | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | R ² |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------|
| Cropwat 8.0 | 101,0 | 97,3 | 106,4 | 98,4 | 94,6 | 84,8 | 83,6 | 99,2 | 103,9 | 107,0 | 101,3 | 105,0 | 1,000 |
| Thorntwaite (1944) | 61,0 | 58,2 | 64,8 | 60,0 | 60,1 | 56,5 | 51,8 | 59,5 | 60,4 | 62,8 | 63,9 | 63,2 | 0,799 |
| Hargreaves (1975) | 107,2 | 105,4 | 115,9 | 106,4 | 98,3 | 89,4 | 89,4 | 111,7 | 115,0 | 117,4 | 110,7 | 115,1 | 0,961 |
| H.F. Blaney and W.D. Criddle (1950) | 120,3 | 110,0 | 121,9 | 115,9 | 118,7 | 113,9 | 114,2 | 118,7 | 116,4 | 121,0 | 118,8 | 121,4 | 0,423 |
| Makkink (1957) | 108,6 | 102,9 | 112,5 | 106,4 | 101,1 | 91,9 | 95,4 | 106,9 | 111,2 | 114,1 | 104,7 | 106,9 | 0,906 |
| Abstwe (1996) | 107,9 | 101,6 | 111,0 | 106,0 | 101,2 | 92,5 | 97,6 | 107,1 | 110,5 | 113,0 | 102,9 | 105,7 | 0,821 |

En la figura 2, la diferencia de los resultados establecidos por el coeficiente de determinación R^2 es ocasionada por las variables utilizadas, donde la ecuación que mayor ajuste obtiene es

Hargreaves (1975) presentes en los municipios de Pitalito y San Agustín, en la cual presentan unas condiciones meteorológicas muy similares. Por otro lado, el municipio de Isnos nos demostró un valor menor que los otros, pero aun así clasificándolo como un ajuste perfecto y considerando una proximidad con la ecuación de Makkink (1957) tomando como referencia el software 8.0.

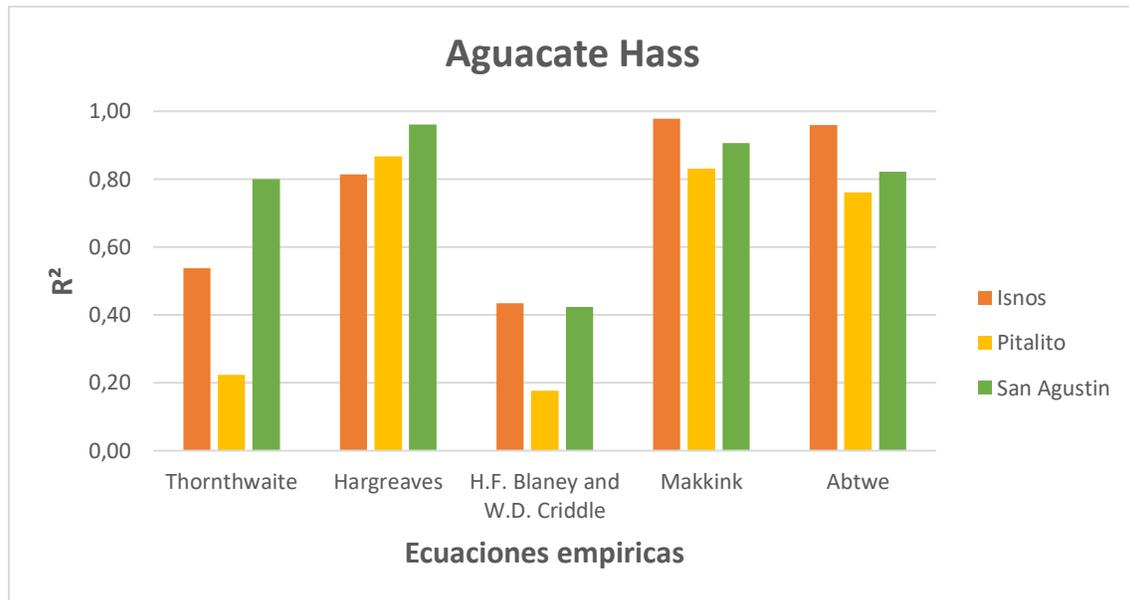


FIGURA 2. Coeficiente de determinación en los municipios del aguacate Hass

ARROZ

El cultivo de Arroz muestra unas condiciones de siembra, en la cual se debe tener en cuenta la climatología y zonas aptas para el crecimiento y desarrollo de la plántula sea lo mejor, para esto se debe tener en cuenta el coeficiente de cultivo (K_c) bajo condiciones estándares donde según FAO presenta un coeficiente medio de 1,20 para el manejo del cultivo.

DEMANDA HIDRICA EN EL MUNICIPIO DE CAMPOALEGRE

En la tabla 11, se observó los resultados de la demanda hídrica presente en el cultivo de arroz en el municipio de Campoalegre, donde se observa que la ecuación de H.F. Blaney and W.D. Criddle (1950) presentó ajustes débiles ($R^2=0,39$) en la cual, no se recomienda el uso de esta. Así mismo se evidencia que las metodologías con el ajuste más fuerte son Makkink (1957) con $R^2= 0,843$ y Hargreaves (1975) con $R^2=0,806$.

TABLA 11. Demanda hídrica de arroz en el municipio de Campoalegre

| Demanda hídrica (mm/mes) | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | R ² |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------|
| Cropwat 8.0 | 155,4 | 146,5 | 163,7 | 153,0 | 151,3 | 142,3 | 149,6 | 166,9 | 169,6 | 168,0 | 144,7 | 145,7 | 1 |
| Thornthwaite (1944) | 152,4 | 148,8 | 170,8 | 155,3 | 170,9 | 170,8 | 179,5 | 199,9 | 197,6 | 172,0 | 144,3 | 141,2 | 0,479 |
| Hargreaves (1975) | 174,3 | 161,8 | 182,1 | 167,3 | 172,1 | 168,8 | 178,0 | 196,8 | 193,1 | 186,0 | 156,6 | 159,1 | 0,806 |
| H.F. Blaney and W.D. Criddle (1950) | 202,0 | 184,6 | 205,5 | 196,2 | 204,6 | 198,9 | 206,2 | 210,1 | 204,2 | 205,7 | 194,8 | 199,7 | 0,395 |
| Makkink (1957) | 133,0 | 126,3 | 138,9 | 132,2 | 127,3 | 116,8 | 123,8 | 136,5 | 140,7 | 141,3 | 126,6 | 129,3 | 0,843 |
| Abstwe (1996) | 152,3 | 143,8 | 157,7 | 151,1 | 144,9 | 132,6 | 140,3 | 153,2 | 157,5 | 160,3 | 145,3 | 149,0 | 0,732 |

DEMANDA HÍDRICA EN EL MUNICIPIO DE PALERMO

Los resultados en la tabla 12, se presenta la demanda hídrica en el cultivo de arroz con diferentes metodologías, evidenciando que los autores de Abstwe (1996) y Makkink (1957) obtienen ajustes nulos, por lo tanto, no se deben emplear estas ecuaciones para el cálculo de la evapotranspiración potencial de referencia. Por otro lado, el autor Hargreaves (1975) conserva un ajuste moderado tomando como referencia los resultados logrados con el software Cropwat 8.0.

TABLA 12. Demanda hídrica de arroz en el municipio de Palermo

| Demanda hídrica (mm/mes) | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | R ² |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------|
| Cropwat 8.0 | 149,5 | 141,5 | 161,0 | 156,8 | 160,1 | 158,5 | 184,8 | 164,0 | 164,6 | 158,5 | 138,4 | 140,5 | 1 |
| Thornthwaite (1944) | 151,0 | 135,7 | 168,2 | 170,1 | 172,0 | 159,1 | 181,7 | 212,7 | 166,1 | 152,5 | 138,4 | 141,6 | 0,543 |
| Hargreaves (1975) | 173,3 | 165,2 | 196,8 | 189,0 | 189,4 | 175,7 | 197,0 | 222,5 | 195,8 | 183,6 | 155,7 | 159,2 | 0,599 |
| H.F. Blaney and W.D. Criddle (1950) | 201,6 | 181,6 | 204,8 | 198,9 | 204,6 | 196,4 | 206,4 | 212,2 | 198,4 | 201,6 | 193,3 | 199,5 | 0,406 |
| Makkink (1957) | 132,4 | 124,9 | 138,6 | 133,3 | 127,6 | 116,3 | 124,3 | 137,5 | 138,4 | 139,4 | 125,7 | 128,7 | 0,020 |
| Abstwe (1996) | 151,8 | 143,4 | 157,6 | 151,3 | 145,2 | 132,9 | 140,8 | 153,5 | 157,3 | 159,9 | 144,8 | 148,4 | 0,001 |

DEMANDA HÍDRICA EN EL MUNICIPIO DE TELLO

Los resultados de la tabla 13, muestra la estimación de la demanda hídrica del cultivo de arroz del municipio de Tello, en el cual Hargreaves (1975) proporcionó ajuste perfecto. Por otra parte, La metodología propuesta por Blaney y Criddle (1950) no debe emplearse, ya que su ajuste es nulo.

TABLA 13. Demanda hídrica de arroz en el municipio de Tello

| Demanda hídrica (mm/mes) | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | R ² |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------|
| Cropwat 8.0 | 144,2 | 141,7 | 151,7 | 142,9 | 135,1 | 120,6 | 128,5 | 141,5 | 141,0 | 140,5 | 122,0 | 121,8 | 1 |
| Thornthwaite (1944) | 126,6 | 116,1 | 122,8 | 117,4 | 117,7 | 109,0 | 116,3 | 120,8 | 116,2 | 110,3 | 98,5 | 101,5 | 0,658 |
| Hargreaves (1975) | 164,5 | 162,5 | 170,0 | 155,9 | 140,9 | 124,1 | 134,5 | 146,9 | 134,2 | 132,5 | 107,3 | 103,6 | 0,781 |
| H.F. Blaney and W.D. Criddle (1950) | 192,5 | 174,1 | 190,9 | 183,4 | 188,2 | 180,3 | 187,7 | 189,5 | 183,4 | 186,8 | 178,1 | 184,0 | 0,188 |
| Makkink (1957) | 128,8 | 121,8 | 133,1 | 127,3 | 121,7 | 110,8 | 117,9 | 129,0 | 132,3 | 133,3 | 119,6 | 122,5 | 0,659 |
| Abstwe (1996) | 151,3 | 142,9 | 157,1 | 150,9 | 144,9 | 132,6 | 140,5 | 152,9 | 156,8 | 159,3 | 144,1 | 147,7 | 0,521 |

El coeficiente de determinación R^2 presenta en la figura 3 un ajuste nulo ocasionados por la ecuación de H.F. Blaney and W.D. Criddle (1950) en los municipios Campoalegre y Tello, donde las variables utilizadas son mínimas para el cálculo que las demás ecuaciones, por ende, esta ecuación es de poca confiabilidad para posibles proyectos. Por otro lado, el municipio de Palermo estableció un resultado con ajuste débil, manteniendo la ecuación de Abtswe (1996) descartada para posibles estudios de la determinación de demanda hídrica en este municipio.

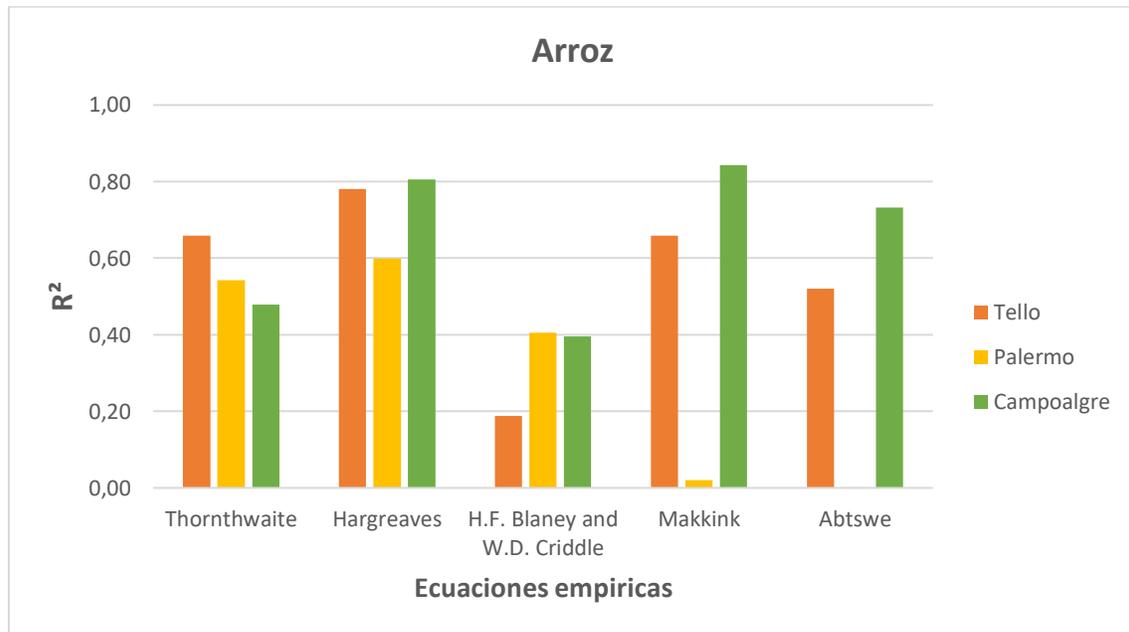


FIGURA 3. Coeficiente de determinación en los municipios de arroz

CACAO

El cultivo de cacao presenta unas condiciones de siembra especiales, en la cual se debe tener en cuenta las variables meteorológicas presente en las sectores acordes para el crecimiento y desarrollo de la plántula, para llevar a cabo dichas condiciones es necesario implementar el coeficiente hídrico de cultivo (K_c) bajo condiciones estándares; es decir, en climas sub-húmedos con una altura máxima de 3 m y bien manejados, registrado en tablas de valores del coeficiente único del cultivo, K_c es de 1,05 para el manejo del cultivo de cacao según FAO.

DEMANDA HÍDRICA EN EL MUNICIPIO DE RIVERA

Los resultados de la tabla 14 presenta la estimación de la demanda hídrica del cultivo de cacao del municipio de Rivera, la cual se evidencia que los autores con el ajuste más fuerte son Makkink (1957) con $R^2=0,908$, seguido por Thornthwaite (1944) con $R^2= 0,881$. Por otro lado, es necesario resaltar que el autor con un ajuste moderado es H.F. Blaney and W.D. Criddle (1950).

TABLA 14. Demanda hídrica de cacao en el municipio de Rivera

| Demanda hídrica (mm/mes) | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | R ² |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------|
| Cropwat 8.0 | 127,7 | 120,5 | 129,7 | 117,2 | 110,7 | 94,8 | 98,4 | 114,0 | 123,3 | 129,8 | 118,0 | 120,1 | 1,000 |
| Thornthwaite (1944) | 122,8 | 112,0 | 124,0 | 109,1 | 100,2 | 80,1 | 82,4 | 93,1 | 101,6 | 117,0 | 112,4 | 115,8 | 0,851 |
| Hargreaves (1975) | 129,7 | 122,6 | 120,9 | 91,8 | 88,6 | 69,4 | 72,6 | 100,0 | 120,5 | 125,7 | 116,8 | 117,6 | 0,881 |
| H.F. Blaney and W.D. Criddle (1950) | 172,5 | 155,8 | 172,5 | 163,0 | 164,4 | 153,3 | 158,4 | 162,4 | 161,1 | 170,5 | 165,0 | 170,5 | 0,569 |
| Makkink (1957) | 115,2 | 108,7 | 119,3 | 112,9 | 106,7 | 95,5 | 101,0 | 111,8 | 116,6 | 120,3 | 109,1 | 111,8 | 0,908 |
| Abstwe (1996) | 132,9 | 125,4 | 137,7 | 132,0 | 126,5 | 115,6 | 122,3 | 133,5 | 137,2 | 139,8 | 126,7 | 129,9 | 0,755 |

DEMANDA HIDRICA EN EL MUNICIPIO DE TELLO

En la tabla 15, muestra la estimación de los resultados de demanda hídrica mostrando que las ecuaciones de H.F. Blaney and W.D. Criddle (1950) y Abstwe (1996) presentan los ajustes más bajos de coeficiente de determinación tomando como referencia Cropwat 8.0. La metodología del autor Hargreaves (1975) presentó el mejor ajuste igual $R^2= 0,781$.

TABLA 15. Demanda hídrica de cacao en el municipio de Tello

| Demanda hídrica (mm/mes) | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | R ² |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------|
| Cropwat 8.0 | 126,2 | 124,0 | 132,7 | 125,1 | 118,2 | 105,5 | 112,5 | 123,8 | 123,4 | 123,0 | 106,8 | 106,6 | 1,000 |
| Thornthwaite (1944) | 110,8 | 101,6 | 107,4 | 102,7 | 103,0 | 95,4 | 101,8 | 105,7 | 101,7 | 96,5 | 86,2 | 88,8 | 0,658 |
| Hargreaves (1975) | 143,9 | 142,2 | 148,8 | 136,4 | 123,3 | 108,6 | 117,7 | 128,6 | 117,4 | 115,9 | 93,8 | 90,7 | 0,781 |
| H.F. Blaney and W.D. Criddle (1950) | 168,5 | 152,4 | 167,1 | 160,5 | 164,6 | 157,8 | 164,2 | 165,8 | 160,5 | 163,4 | 155,8 | 161,0 | 0,188 |
| Makkink (1957) | 112,7 | 106,5 | 116,5 | 111,4 | 106,5 | 97,0 | 103,1 | 112,9 | 115,8 | 116,6 | 104,6 | 107,2 | 0,659 |
| Abstwe (1996) | 132,4 | 125,1 | 137,4 | 132,0 | 126,8 | 116,1 | 122,9 | 133,8 | 137,2 | 139,3 | 126,1 | 129,2 | 0,521 |

DEMANDA HÍDRICA EN EL MUNICIPIO DE NEIVA

La tabla 16 representa la demanda hídrica del municipio de Neiva para el desarrollo del cultivo de cacao, en la cual la ecuación de Hargreaves (1975) presenta ajustes fuertes tomando como referencia los resultados del Cropwat 8.0. Al igual que el municipio de Tello es la metodología con mejor ajuste entre las demás con un resultado en la evaluación del coeficiente de determinación de 0,871.

TABLA 16. Demanda hídrica de cacao en el municipio de Neiva

| Demanda hídrica (mm/mes) | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | R ² |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------|
| Cropwat 8.0 | 137,6 | 130,2 | 136,2 | 137,9 | 146,2 | 145,5 | 158,6 | 165,3 | 178,7 | 163,1 | 138,7 | 144,3 | 1 |
| Thornthwaite (1944) | 149,7 | 139,7 | 140,8 | 147,4 | 166,8 | 176,3 | 195,5 | 203,9 | 196,1 | 191,4 | 169,4 | 185,3 | 0,755 |
| Hargreaves (1975) | 149,9 | 143,1 | 150,8 | 150,6 | 157,8 | 153,7 | 166,9 | 171,1 | 172,9 | 177,9 | 153,8 | 159,2 | 0,871 |
| H.F. Blaney and W.D. Criddle (1950) | 180,6 | 163,7 | 178,8 | 174,4 | 182,4 | 178,7 | 186,7 | 188,1 | 182,0 | 186,9 | 178,7 | 186,3 | 0,430 |
| Makkink (1957) | 117,0 | 110,7 | 120,7 | 116,5 | 112,6 | 103,8 | 110,5 | 120,8 | 124,0 | 125,6 | 113,1 | 116,4 | 0,247 |
| Abstwe (1996) | 132,9 | 125,6 | 137,9 | 132,4 | 127,2 | 116,5 | 123,4 | 134,4 | 138,0 | 140,2 | 127,0 | 130,2 | 0,129 |

En la figura 4, la estimación de la ecuación para el cálculo de la demanda hídrica es estipulada por el coeficiente de determinación R^2 , obteniendo un resultado más cercano a los establecido por el software Cropwat 8.0 con ajuste perfecto en el municipio de Neiva y Tello, donde encontramos la fórmula del autor Hargreaves (1975). En el municipio de Rivera los datos con mayor cercanía al valor teórico es la ecuación Makkink (1957) y Hargreaves (1975) colocándolas con un ajuste perfecto y confiable para el desarrollo del estudio.

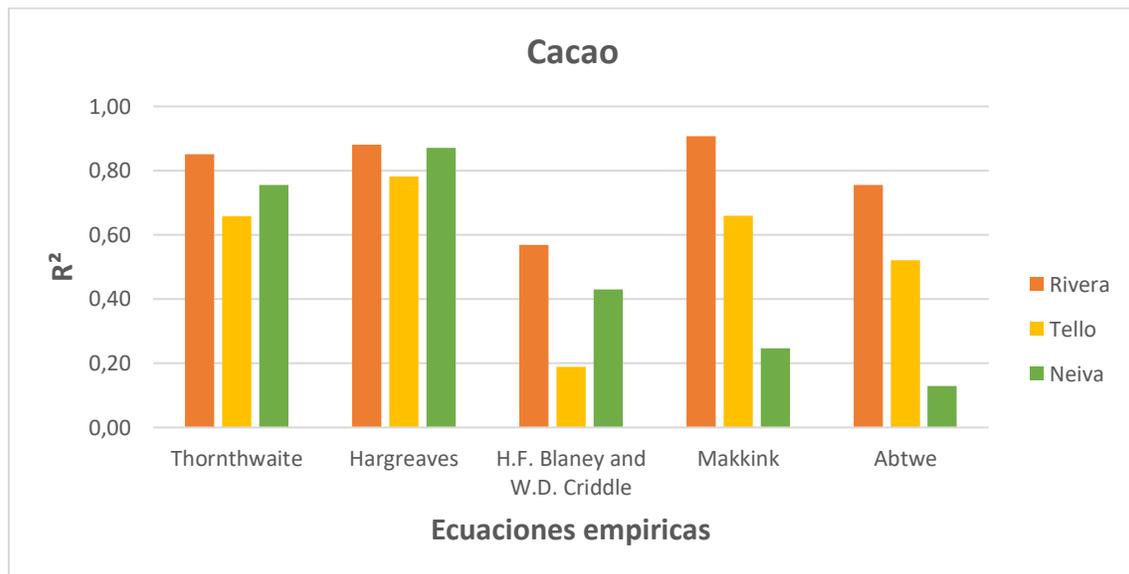


FIGURA 4. Coeficiente de determinación en los municipios de cacao

CAFÉ

Los cultivos de la especie (*Coffea arábica*) se recomienda cumplir con ciertos parámetros para obtener resultados en su crecimiento y desarrollo de la plántula, es preciso emplear el coeficiente de cultivo (K_c) bajo condiciones estándares para cultivos no estresados y bien manejados en climas subhúmedos donde según FAO presenta un coeficiente medio de 0,95 adimensional.

La evaporación en Colombia para el cultivo de café con una altitud de 500 a 1.300 m.s.n.m. varían entre 4.13 mm/día y 3.45 mm/día respectivamente, de lo cual se podría deducir que la evaporación mensualmente para los municipios que se encuentran entre las altitudes descritas corresponde a 103.5 mm/mes y 123.9 mm/mes (Jaramillo, 2005).

DEMANDA HIDRICA EN EL MUNICIPIO DE PITALITO

En la tabla 17, se puede apreciar la estimación de los resultados de demanda hídrica de cultivo de café, para el caso del municipio de Pitalito la ecuación descrita en el año de 1950 por los autores H.F. Blaney and W. D. Criddle no explica de manera correcta el comportamiento de la demanda hídrica y con ajuste nulo ($R^2= 0,178$). Así mismo, se evidencia que la metodología de Hargreaves obtuvo un ajuste fuerte.

TABLA 17. Demanda hídrica de café en el municipio de Pitalito

| Demanda hídrica (mm/mes) | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | R ² |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------|
| Cropwat 8.0 | 112,7 | 107,4 | 115,0 | 109,0 | 108,9 | 98,3 | 101,4 | 106,6 | 117,1 | 120,1 | 113,5 | 117,2 | 1,000 |
| Thorntwaite (1944) | 76,8 | 71,2 | 75,0 | 75,5 | 79,4 | 73,8 | 74,2 | 72,7 | 72,7 | 78,4 | 76,6 | 84,1 | 0,223 |
| Hargreaves (1975) | 116,6 | 115,4 | 122,0 | 115,4 | 119,9 | 106,7 | 108,8 | 109,5 | 128,2 | 130,6 | 127,4 | 129,4 | 0,870 |
| H.F. Blaney and W.D. Criddle (1950) | 141,5 | 128,3 | 140,4 | 136,4 | 141,3 | 135,3 | 139,1 | 138,7 | 135,5 | 141,8 | 137,8 | 144,6 | 0,178 |
| Makkink (1957) | 101,1 | 95,3 | 103,4 | 99,0 | 94,7 | 86,0 | 90,6 | 99,1 | 102,9 | 106,0 | 96,8 | 100,3 | 0,833 |
| Abstwe (1996) | 121,0 | 113,8 | 124,3 | 118,7 | 113,4 | 103,6 | 109,4 | 119,9 | 123,8 | 126,6 | 115,3 | 118,5 | 0,759 |

DEMANDA HÍDRICA EN EL MUNICIPIO DE ACEVEDO

En la tabla 18, se muestra que la propuesta metodológica de Makkink (1957) para estimar la evapotranspiración del cultivo logró el ajuste más fuerte, así mismo, las metodologías de H.F. Blaney and W.D. Criddle y Thornthwaite subestiman a la evapotranspiración del cultivo con ajustes bajos de R² que oscilan entre 0,140 y 0,190.

TABLA 18. Demanda hídrica de café en el municipio de Acevedo

| Demanda hídrica (mm/mes) | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | R ² |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------|
| Cropwat 8.0 | 106,0 | 100,3 | 109,5 | 102,6 | 101,2 | 89,8 | 93,2 | 100,6 | 102,8 | 106,7 | 100,8 | 101,5 | 1,00 |
| Thorntwaite (1944) | 63,2 | 57,3 | 64,7 | 61,9 | 66,6 | 60,4 | 57,8 | 57,2 | 57,7 | 59,8 | 60,4 | 59,8 | 0,145 |
| Hargreaves (1975) | 110,1 | 106,0 | 114,7 | 105,8 | 106,7 | 91,6 | 96,3 | 104,0 | 102,6 | 107,5 | 104,1 | 102,8 | 0,902 |
| H.F. Blaney and W.D. Criddle (1950) | 127,9 | 115,4 | 128,5 | 123,1 | 128,5 | 121,9 | 123,4 | 123,4 | 121,0 | 125,5 | 123,3 | 125,9 | 0,189 |
| Makkink (1957) | 98,5 | 92,5 | 101,3 | 96,0 | 92,2 | 83,2 | 86,8 | 95,3 | 99,2 | 101,9 | 93,6 | 95,6 | 0,925 |
| Abstwe (1996) | 120,8 | 113,6 | 123,9 | 118,1 | 112,8 | 102,9 | 108,7 | 119,3 | 123,3 | 126,2 | 115,1 | 118,2 | 0,849 |

DEMANDA HIDRICA EN EL MUNICIPIO DE LA PLATA

La tabla 19, presenta los resultados de la evapotranspiración del cultivo de café o demanda hídrica, identificando la metodología de Makkink (1957) como la más apropiada para estimar esta variable, ya que el ajuste del coeficiente de determinación es fuerte R² igual a 0,915. Así mismo, muestra que la metodología de Blaney y Criddle (1950) no se debe emplear, esta metodología arrojó un ajuste nulo de R²

TABLA 19. Demanda hídrica de café en el municipio de La Plata

| Demanda hídrica (mm/mes) | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | R ² |
|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------------|
| Cropwat 8.0 | 102 | 99,9 | 109 | 104 | 101 | 90,9 | 96,1 | 110 | 113 | 113 | 99,3 | 102 | 1,00 |
| Thorntwaite (1944) | 77,1 | 74,3 | 81,4 | 81,1 | 81,9 | 75,7 | 79,7 | 82,5 | 81,6 | 79,6 | 75,3 | 79,3 | 0,385 |
| Hargreaves (1975) | 134 | 134 | 150 | 143 | 138 | 123 | 132 | 143 | 146 | 144 | 132 | 135 | 0,834 |
| H.F. Blaney and W.D. Criddle (1950) | 142 | 130 | 144 | 139 | 143 | 137 | 142 | 144 | 140 | 143 | 138 | 143 | 0,184 |
| Makkink (1957) | 122 | 116 | 127 | 121 | 116 | 105 | 112 | 123 | 127 | 128 | 116 | 120 | 0,915 |
| Abstwe (1996) | 120 | 113 | 124 | 119 | 114 | 104 | 110 | 120 | 124 | 126 | 115 | 118 | 0,895 |

Según Cañón (2018) la demanda hídrica quincenal para el cultivo de café varía entre 55 – 70 mm/quincena, se puede deducir unos valores de 110 – 140 mm/mes. Como se observa en las tablas 17, 18 y 19 los resultados obtenidos se encuentran entre los rangos permisibles para la zona andina donde se encuentra ubicado los municipios de Pitalito, Acevedo y la Plata.

Es importante resaltar en la figura 5 qué ecuación determina un ajuste fuerte o débil, por ende establecemos el cálculo de coeficiente de determinación R^2 , estimando así que la ecuación de H.F. Blaney and W.D. Criddle (1950) no es apta para estudios relacionados con los municipios de La Plata, Acevedo y Pitalito, para este tipo de cultivo. Debido a sus condiciones meteorológicas y el coeficiente de referencia (K_c). Por otra parte, el autor Makkink (1957) da sus resultados estableciéndolos con condiciones perfectas.

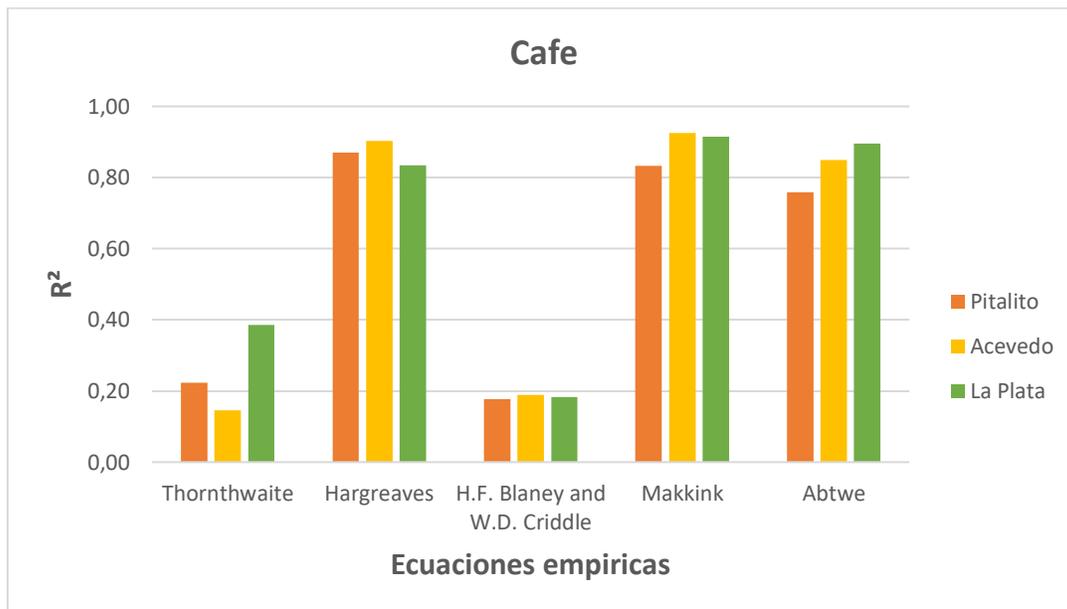


FIGURA 5. Coeficiente de determinación en los municipios de café

CAÑA DE AZÚCAR

Para el cultivo de caña se considera el crecimiento y desarrollo de la plántula, por lo tanto, fue necesario identificar y emplear el coeficiente hídrico del cultivo (K_c) bajo condiciones estándares, publicado por la FAO el cual fue de 1,25 para el manejo del cultivo para la altura máxima de 3 metros de la planta.

DEMANDA HÍDRICA EN EL MUNICIPIO DE ISNOS

Las dos metodologías más apropiadas para determinar la demanda hídrica del cultivo de azúcar son las propuestas por Makkink (1957) y Abtwe (1996) alcanzando ajustes fuertes en el coeficiente de determinación (R^2) iguales a 0,977 y 0,960 respectivamente. Por otra parte, las ecuaciones de Thornthwaite (R^2 : 0.537) y H.F. Blaney and W.D. Criddle (R^2 : 0.423) no son adecuadas para estimar la demanda hídrica en el municipio de Isnos, ya que estas las subestiman (Tabla 20).

TABLA 20. Demanda hídrica de caña de azúcar en el municipio de Isnos

| Demanda hídrica (mm/mes) | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | R ² |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------|
| Cropwat 8.0 | 132,7 | 120,7 | 132,1 | 126,7 | 119,6 | 105,7 | 110,6 | 126 | 130,8 | 137,9 | 122,2 | 125,8 | 1,00 |
| Thornthwaite (1944) | 89,4 | 77,6 | 90,3 | 89,4 | 84,0 | 73,4 | 75,5 | 74,8 | 80,0 | 90,3 | 86,8 | 85,1 | 0,537 |
| Hargreaves (1975) | 123,7 | 106,4 | 111,6 | 105,7 | 101,2 | 92,2 | 96,5 | 119,3 | 122,6 | 129,1 | 101,7 | 110,9 | 0,813 |
| H.F. Blaney and W.D. Criddle (1950) | 174,1 | 155,1 | 174,1 | 168,5 | 169,3 | 159,2 | 164,5 | 164,5 | 163,8 | 174,1 | 168,5 | 171,7 | 0,429 |
| Makkink (1957) | 129,8 | 121,2 | 133,6 | 127,6 | 119,9 | 107,7 | 113,8 | 124,6 | 130,8 | 136,0 | 123,8 | 126,0 | 0,977 |
| Abstwe (1996) | 158,6 | 149,2 | 163,2 | 155,9 | 148,8 | 135,9 | 143,6 | 157,3 | 162,4 | 166,1 | 151,2 | 155,2 | 0,960 |

DEMANDA HÍDRICA EN EL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN

Las metodologías propuestas por Thornthwaite y H.F. Blaney and W.D. Criddle subestiman la determinación de la demanda hídrica del cultivo de azúcar en el municipio de San Agustín. Cabe resaltar que el uso de la ecuación empírica de Hargreaves (1975) obtuvo el mayor ajuste del coeficiente de determinación ($R^2=0.961$), seguido por la metodología de Makkink (Tabla 21)

TABLA 21. Demanda hídrica de caña de azúcar en el municipio de San Agustín

| Demanda hídrica (mm/mes) | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | R ² |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------|
| Cropwat 8.0 | 148,6 | 143,2 | 156,4 | 144,8 | 139,1 | 124,7 | 123 | 146 | 152,8 | 157,4 | 149,0 | 154,5 | 1,00 |
| Thornthwaite (1944) | 89,7 | 85,6 | 95,3 | 88,3 | 88,4 | 83,2 | 76,1 | 87,6 | 88,8 | 92,4 | 93,9 | 92,9 | 0,799 |
| Hargreaves (1975) | 157,6 | 155,0 | 170,5 | 156,5 | 144,5 | 131,5 | 131,5 | 164,3 | 169,1 | 172,7 | 162,8 | 169,2 | 0,961 |
| H.F. Blaney and W.D. Criddle (1950) | 176,9 | 161,8 | 179,3 | 170,5 | 174,5 | 167,5 | 168,0 | 174,5 | 171,2 | 177,9 | 174,7 | 178,6 | 0,423 |
| Makkink (1957) | 159,7 | 151,3 | 165,5 | 156,5 | 148,6 | 135,2 | 140,3 | 157,3 | 163,6 | 167,8 | 154,0 | 157,2 | 0,906 |
| Abstwe (1996) | 158,7 | 149,4 | 163,3 | 155,9 | 148,9 | 136,0 | 143,6 | 157,5 | 162,6 | 166,2 | 151,4 | 155,4 | 0,821 |

DEMANDA HÍDRICA EN EL MUNICIPIO DE NEIVA

La ecuación de Abstwe (1996), no se debe emplear para determinar la demanda hídrica en el municipio de Neiva, ya que el ajuste del coeficiente de determinación es nulo. Así mismo, se evidencia que la metodología propuesta por Hargreaves (1975) es la más conveniente de emplear debido al fuerte ajuste que logró en el coeficiente de determinación tomando como referencia los resultados del Cropwat 8.0.

TABLA 22. Demanda hídrica de caña de azúcar en el municipio de Neiva

| Demanda hídrica (mm/mes) | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | R ² |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------|
| Cropwat 8.0 | 163,8 | 155,0 | 162,1 | 164,1 | 174,0 | 173,3 | 188,8 | 196,8 | 212,8 | 194,1 | 165,1 | 171,8 | 1,00 |
| Thornthwaite (1944) | 178,2 | 166,3 | 167,6 | 175,4 | 198,6 | 209,8 | 232,7 | 242,7 | 233,5 | 227,8 | 201,7 | 220,6 | 0,756 |
| Hargreaves (1975) | 178,5 | 170,4 | 179,5 | 179,2 | 187,9 | 182,9 | 198,7 | 203,7 | 205,8 | 211,8 | 183,1 | 189,5 | 0,871 |
| H.F. Blaney and W.D. Criddle (1950) | 215,0 | 194,8 | 212,8 | 207,6 | 217,2 | 212,7 | 222,2 | 223,9 | 216,7 | 222,5 | 212,7 | 221,7 | 0,431 |
| Makkink (1957) | 139,3 | 131,8 | 143,7 | 138,6 | 134,0 | 123,5 | 131,6 | 143,8 | 147,6 | 149,6 | 134,6 | 138,6 | 0,247 |
| Abstwe (1996) | 158,3 | 149,5 | 164,1 | 157,7 | 151,4 | 138,7 | 146,9 | 160,0 | 164,2 | 166,9 | 151,2 | 155,0 | 0,127 |

La evapotranspiración promedio para el cultivo de caña de azúcar alcanzó valores cercanos a 1900 mm en un periodo de 12.5 meses, del cual se puede concluir un promedio de 152 mm/mes (Hincapié *et al.*, 2015) en primer lugar se posiciona la ecuación de Hargreaves como la más cercana a dicha conclusión, aunque los resultados realizados por Hincapié fueron a través de métodos directos (lisímetros de pesada) y la presente investigación cumple con los requisitos de métodos indirectos (fórmulas empíricas) es correcto afirmar que a pesar de la diferencia de metodologías la variación es mínima entre ellas, y como el uso de fórmulas empíricas da una proyección o estimación de resultados bastantes cercanos al uso de instrumentos de medición

La diferencia de los resultados establecidos por el coeficiente de determinación R^2 es ocasionada por las variables utilizadas, donde la ecuación que mayor ajuste obtiene es Hargreaves (1975) presentes en los municipios de Pitalito y San Agustín, en la cual presentan unas condiciones meteorológicas muy similares. Por otro lado, el municipio de Isnos nos demostró un valor menor que los otros, pero aun así clasificándolo como un ajuste perfecto y considerando una proximidad con la ecuación de Makkink (1957) tomando como referencia el software 8.0 (figura 6).

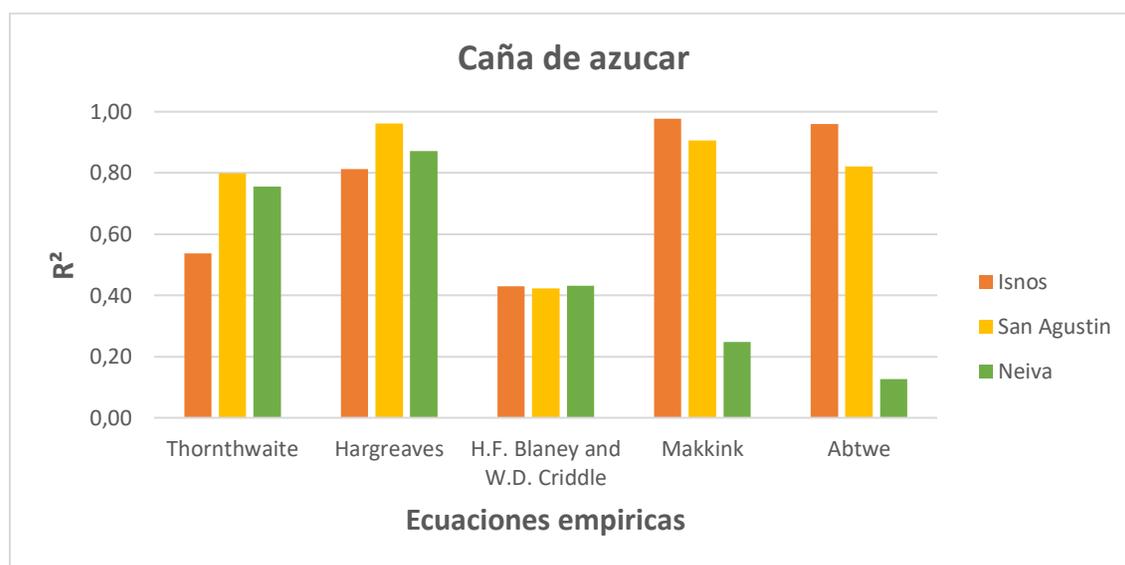


FIGURA 6. Coeficiente de determinación en los municipios de caña de azúcar

GRANADILLA

La granadilla es una de la pasiflora de mayor demanda en el mercado doméstico, la cual un cultivo importante para Colombia, junto con Venezuela, Suráfrica, Kenya y Australia (Universidad de los Andes, 1994). Donde se debe garantizar una adecuada demanda hídrica, por lo tanto, se consideró un coeficiente de cultivo K_c de 0,9 generado por una etapa de 90 días y alcanzando una profundidad radicular inicial de 0,10 m, esta investigación es realizada por Torrente,2010.

DEMANDA HÍDRICA EN EL MUNICIPIO DE ALGECIRAS

Los resultados de la demanda hídrica del cultivo formulados por la tabla 23, se muestra la cantidad de agua presente para el desarrollo del cultivo en diferentes zonas aptas del municipio de Algeciras. Por ende, se observó que Hargreaves (1975) y Makkink (1957) establecen un valor con unas

condiciones perfectas dentro del rango establecido por el coeficiente de determinación en comparación al software Cropwat 8.0 utilizado para calcular y acondicionar la ecuación que más se ajusta respecto a los datos formulados por diferentes autores.

Se sugiere la metodología propuesta por Makkink (1957) y Hargreaves (1975) que alcanzo los mejores resultados tomando en cuenta el coeficiente de determinación. Por otra parte, las ecuaciones de Thornthwaite y Blaney y Criddle no se deben emplear para estimar la demanda hídrica en el municipio de Algeciras, debido al nulo ajuste alcanzado en el coeficiente de determinación (Tabla 23).

TABLA 23. Demanda hídrica de granadilla en el municipio de Algeciras

| Demanda hídrica (mm/mes) | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | R ² |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------|
| Cropwat 8.0 | 120,2 | 115,7 | 117,9 | 118,6 | 117,1 | 110,0 | 117,1 | 128,7 | 126,5 | 126,1 | 114,5 | 117,6 | 1,000 |
| Thornthwaite (1944) | 82,5 | 74,3 | 76,0 | 84,5 | 88,4 | 90,1 | 93,2 | 95,7 | 90,5 | 92,3 | 89,2 | 83,0 | 0,143 |
| Hargreaves (1975) | 138,6 | 138,0 | 134,4 | 140,0 | 140,0 | 133,7 | 143,6 | 157,8 | 149,9 | 144,3 | 129,6 | 133,7 | 0,711 |
| H.F. Blaney and W.D. Criddle (1950) | 140,4 | 126,5 | 137,8 | 136,5 | 141,3 | 138,1 | 142,8 | 143,9 | 138,8 | 143,4 | 138,9 | 140,6 | 0,183 |
| Makkink (1957) | 119,9 | 112,9 | 122,6 | 119,1 | 114,1 | 104,9 | 111,2 | 121,8 | 125,0 | 127,4 | 115,7 | 117,4 | 0,715 |
| Abstwe (1996) | 114,0 | 107,5 | 117,7 | 113,0 | 108,2 | 99,0 | 104,8 | 114,4 | 117,6 | 119,9 | 108,8 | 111,5 | 0,634 |

DEMANDA HÍDRICA EN EL MUNICIPIO DE COLOMBIA

La ecuación propuesta por presenta H.F. Blaney and W.D. Criddle (1950) no es adecuada para estimar la demanda hídrica en el municipio de Colombia, ya que el ajuste logrado en el coeficiente de determinación fue débil, por otra parte, Las dos mejores metodologías fueron realizadas por Makkink (1957) y Hargreaves (1975), debido al ajuste fuerte del coeficiente de determinación, con $R^2= 0.915$ y $R^2= 0.853$ respectivamente según la Tabla 24.

TABLA 24. Demanda hídrica de granadilla en el municipio de Colombia

| Demanda hídrica (mm/mes) | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | R ² |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------|
| Cropwat 8.0 | 97,83 | 90,62 | 101,6 | 94,63 | 92,11 | 81,55 | 84,04 | 91,41 | 96,61 | 100,5 | 91,47 | 96,44 | 1,000 |
| Thornthwaite (1944) | 69,5 | 62,71 | 71,27 | 66,32 | 69,28 | 60,44 | 59,81 | 60,59 | 63,27 | 68,74 | 67,11 | 71,67 | 0,598 |
| Hargreaves (1975) | 93,31 | 84,52 | 96,39 | 84,93 | 83,56 | 72,31 | 74,13 | 80,47 | 89,25 | 93,56 | 87,66 | 98,31 | 0,853 |
| H.F. Blaney and W.D. Criddle (1950) | 130,7 | 117,8 | 131,2 | 125 | 129,3 | 121,8 | 124,7 | 125,4 | 123,8 | 130 | 126,3 | 131,8 | 0,419 |
| Makkink (1957) | 93,45 | 88,21 | 97,47 | 92,89 | 89,36 | 80,55 | 84,83 | 92,45 | 95,92 | 98,29 | 89,13 | 91,77 | 0,917 |
| Abstwe (1996) | 112,8 | 106,6 | 117,4 | 112,9 | 108,5 | 99,32 | 105,2 | 114,3 | 117,2 | 119 | 107,6 | 110,3 | 0,802 |

DEMANDA HÍDRICA EN EL MUNICIPIO DE GARZON

Se analiza los resultados de la tabla 25, donde se estableció que las metodologías propuestas por Hargreaves (1975) y Makkink (1957) lograron un ajuste fuerte en la determinación de la demanda hídrica en el municipio de Garzón, tomando como referencia los resultados del software Cropwat 8.0. por otra parte, la metodología de Thornthwaite (1944) subestima la demanda hídrica y su ajuste es nulo.

TABLA 25. Demanda hídrica de granadilla en el municipio de Garzón

| Demanda hídrica (mm/mes) | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | R ² |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------|
| Cropwat 8.0 | 110,2 | 103,8 | 113,5 | 106,2 | 104,0 | 95,1 | 100,6 | 108,3 | 108,7 | 113,3 | 103,1 | 111,4 | 1,000 |
| Thornthwaite (1944) | 72,8 | 66,8 | 76,0 | 72,5 | 74,5 | 70,8 | 70,5 | 70,6 | 68,6 | 72,0 | 69,6 | 74,0 | 0,198 |
| Hargreaves (1975) | 122,0 | 116,8 | 127,1 | 115,6 | 115,9 | 106,1 | 114,5 | 120,8 | 118,5 | 124,7 | 113,7 | 126,8 | 0,922 |
| H.F. Blaney and W.D. Criddle (1950) | 134,0 | 121,2 | 135,0 | 129,5 | 133,4 | 128,5 | 131,7 | 132,1 | 128,1 | 133,3 | 129,1 | 134,5 | 0,256 |
| Makkink (1957) | 95,2 | 89,7 | 98,6 | 93,9 | 89,7 | 81,8 | 86,0 | 94,2 | 97,2 | 99,6 | 90,5 | 93,4 | 0,909 |
| Abstwe (1996) | 114,1 | 107,5 | 117,7 | 112,6 | 107,7 | 98,5 | 104,1 | 113,8 | 117,2 | 119,7 | 108,7 | 111,6 | 0,886 |

En la figura 7, la estimación de los resultados expresados por las ecuaciones de evapotranspiración potencial, ayuda a establecer, cuáles son las fórmulas idóneas y no aptas para la determinación de demanda hídrica. Por ello, se establece un cálculo estadístico de referencia denominado coeficiente de determinación R², donde se observa que las ecuaciones de Thornthwaite (1944) y H.F. Blaney and W.D. Criddle (1950) son las que desarrolla un valor menor posicionándolo como un ajuste moderada o nula en los municipios de Algeciras, Colombia y Garzón.

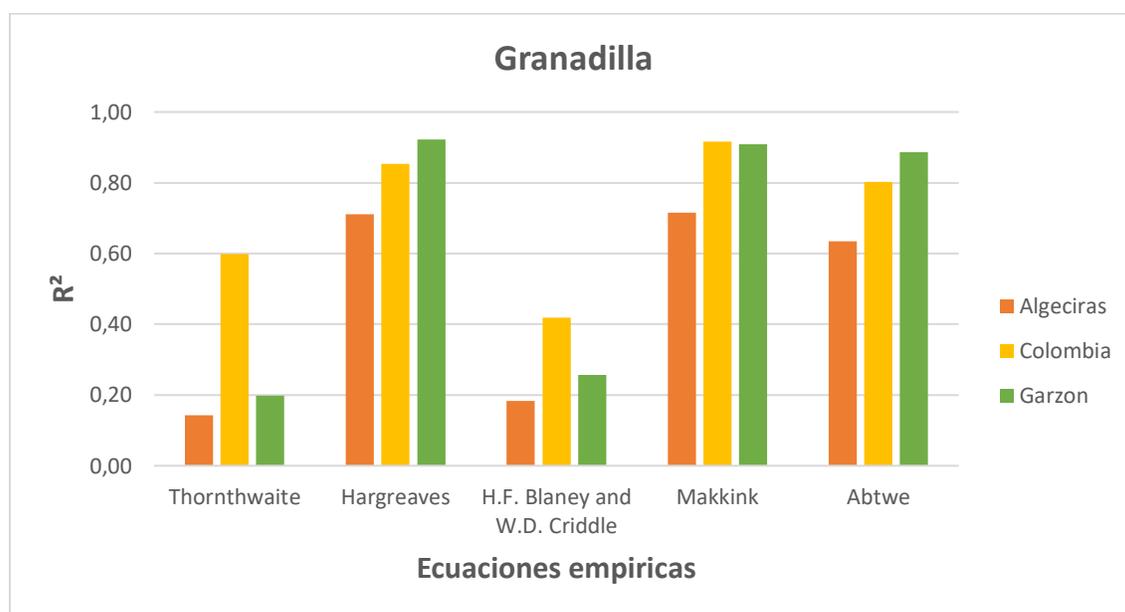


FIGURA 7. Coeficiente de determinación en los municipios de granadilla.

CONCLUSIONES

Considerando la aptitud alta del suelo, el área cosechada y rendimientos, los cultivos agrícolas claves mencionados en el Plan de Desarrollo Departamental “Huila Crece” deben impulsarse de la siguiente forma: Aguacate Hass en los municipios de Isnos, San Agustín y Pitalito; Caña de Azúcar en los municipios de Isnos, San Agustín y Neiva; Arroz en los municipios de Campoalegre, Palermo y Tello; El Cacao en los municipios de Rivera, Tello y Neiva; El Café en los municipios

de Pitalito, Acevedo, y La Plata, Finalmente el cultivo de Granadilla en los municipios de Algeciras, Colombia y Garzón.

Las dos metodologías que describieron mejor el comportamiento de la demanda hídrica con ajuste perfecto del coeficiente de determinación cercana a la unidad (1.0), fueron Hargreaves (1975) y Makkink (1957). La primera fue apropiada para los municipios de Pitalito, San Agustín, Palermo, Tello, Neiva y Garzón y la segunda en las jurisdicciones de Isnos, Campoalegre, Rivera, Acevedo, La Plata, Algeciras y Colombia.

El método propuesto por H.F. Blaney and W.D. Criddle (1950) sobreestimó la demanda hídrica en los municipios de Acevedo, Campoalegre, Colombia, Isnos, La Plata, Pitalito, Rivera, San Agustín y Tello; por otra parte, las metodologías que subestiman la demanda hídrica fueron Abstwe (1996) para los municipios de Neiva y Palermo y Thornthwaite en Algeciras y Garzón, obteniendo ajustes nulos del coeficiente de determinación.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos de manera especial a nuestros padres y hermanos por su apoyo incondicional en nuestro proceso académico.

A nuestro asesor Marlio Bedoya Cardoso por toda su disposición y enseñanza brindada para el correcto diseño y ejecución del presente proyecto, todo para contribuir en nuestro crecimiento personal y futuro profesional.

REFERENCIAS

Alarcón, J.; Zafra, C. & Echeverri, L. (2019). Cambio climático y recursos hídricos en Colombia. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 22(2): e1368. <http://doi.org/10.31910/rudca.v22.n2.2019.1368>

Allen, R; Pereira, L; Raes, D; Smith, M. (2006). Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Roma, Italia. 298 p. ISSN 0254-5293

Burbano, H. (2016). El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria. Rev. Ciencia. Agr. 33(2):117-124. doi: <http://dx.doi.org/10.22267/rcia.163302.58>

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

Calderon Castaño, L. Estimación y análisis de la evapotranspiración en el municipio de Manizales. [Maestría en recursos hidricos]. Manizales (Colombia): Universidad Nacional de Colombia, Facultad de ingeniería, 2017. 4 - 10 p.

Cañón Hernández, M. Determinación de las necesidades hídricas en un cultivo de café, en etapa productiva, con base en el conocimiento de balance hídrico. [Tesis Maestría desarrollo sostenible

y medio ambiente]. Manizales (Colombia): Universidad de Manizales, Facultad de Ciencias Contables, Económicas y Administrativas, 2018, 16 p.

Cleves, J., Toro, J. & Martínez, L. (2016). Los balances hídricos agrícolas en modelos de simulación agroclimáticos. Una revisión analítica. REVISTA COLOMBIANA DE CIENCIAS HORTÍCOLAS. Vol. 10 N° 1.149 – 163. DOI: <http://dx.doi.org/10.17584/rcch.2016v10i1.4460>

Federación Nacional de Cacaoteros (2021). Año cacaotero 2020 - 2021, el de mayor producción de cacao en la historia de Colombia. <https://www.fedecacao.com.co/post/a%C3%B1o-cacaotero-2020-2021-el-de-mayor-producci%C3%B3n-de-cacao-en-la-historia-de-colombia>. Consultado el 12 de abril del 2022

Giraldo Silva, V. Identificación y selección de una o más fórmulas empíricas de evapotranspiración potencial para el departamento del Huila. [Tesis Pregrado Ingeniería Agrícola]. Huila (Colombia): Universidad Surcolombiana, Facultad de ingeniería, 2015.

Guevara Díaz, J. M. La fórmula de Penman-Monteith FAO 1998 para determinar la evapotranspiración de referencia, ETo. Terra. Nueva Etapa, XXII (31),31-72. ISSN: 1012-7089. (2006).

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

Hincapie, E., Carbonell, J. y Chica, A. (2015). DETERMINACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN Y DE LOS COEFICIENTES DEL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR MEDIANTE LISÍMETROS DE PESAJE. Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia.

IDEAM. Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000 . IDEAM, (2010). Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá, D. C. 2010.

ICA, Manejo fitosanitario del cultivo del aguacate Hass (Persea americana Mill) Medida para la temporada invernal. Instituto Colombiano Agropecuario ICA, Bogotá D.C. Colombia. 2012. Código: 00.09.35.12.C.

InfoAgro. Cultivo de cacao, Página Web <https://www.infoagro.com/herbaceos/industriales/cacao.htm> Consultado el 13 de noviembre del 2021.

Jaramillo Robledo, A. *Clima Andino y Café en Colombia*. Chinchina, Colombia: Federación Nacional de Cafeteros de Colombia- Centro Nacional de Investigaciones de Café. 2005.

Lopez, M. Análisis de los métodos de estimación de evaporación y evapotranspiración a las condiciones locales de la ciudad de Córdoba. Universidad Nacional de la Pampa. Santa Rosa, La Pampa. 2011.

López, R., & Ojeda, W., & López, A., & Catalán, E.. (2013). MÉTODO DE PULSO DE CALOR Y FLUJO DE SAVIA PARA MEDIR LA TRANSPIRACIÓN EN EL CULTIVO DE CACAO. Revista Chapingo Serie Zonas Áridas, XII(2),85-96. [doi: 10.5154/r.rchsza.2012.06.023](https://doi.org/10.5154/r.rchsza.2012.06.023)

MADR. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. CADENA DE CACAO, CAFÉ Y CAÑA DE AZÚCAR. Dirección de Cadenas Agrícolas y Forestales. Marzo de 2021. Colombia.

Ocampo, D., & Rivas, R. Evaluación de métodos de estimación de la evapotranspiración a escala mensual y anual en Argentina: aplicación en zonas húmedas, semiáridas y áridas. 2011 cuadernos Del CURIHAM, 17, 33–42. <https://doi.org/10.35305/curiham.v17i0.55>

Ortiz, Randon & Chile, Maritza. Métodos de cálculo para la evapotranspiración de referencia para el Valle de Tumbaco. Siembra, vol. 7, n. 1, 2020. DOI: <https://doi.org/10.29166/siembra.v7i1.1450>

PEA. Formulación de Plan Estratégico Agropecuario y de Desarrollo Rural visión 2020. Secretaría de Agricultura y Minería. Gobernación del Huila. 2005.

Resolución 000261 de 2018, (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural) por la cual define la Frontera Agrícola Nacional y se adopta la metodología para la identificación general. 21 de junio del 2018.

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

A. Torrente. Metodología para la determinación de los requerimiento hídrico en cultivos de granadilla y maracuyá. Cenigaa, Universidad Surcolombiana, GHIDA. 2010.

UPRA Unidad de Planificación Rural Agropecuaria. Metodología para la identificación general de la frontera agrícola en Colombia. Bogotá D.C., Colombia, 2018.

UPRA (2019). Unidad de Planificación Rural Agropecuaria. Evaluación de tierras: zonificación. Bogota D.C. Colombia. Consultado 9 abril de 2022 <https://www.upra.gov.co/uso-y-adequacion-de-tierras/evaluacion-de-tierras/zonificacion>

Viliam Novák . Evapotranspiration in the Soil-Plant-Atmosphere System. Institute of Hydrology Slovak Academy of Sciences, Bratislava, Slovakia. 2018, ISBN 978-94-007-3839-3 ISBN 978-94-007-3840-9 (eBook) DOI [10.1007/978-94-007-3840-9](https://doi.org/10.1007/978-94-007-3840-9)

Villanueva, J., Huahuachampi, J. & Soto, L. (2017). Determinación de la demanda hídrica del cultivo de quinua QML01 (*Chenopodium Quinoa Willd*) en la Molina. Anales Científicos, 78 (2): 200-209 DOI: <http://dx.doi.org/10.21704/ac.v78i2.1057>

Villanueva, J., Loredo, C., Hernandez A. Requerimientos hídricos de especies anuales y perenne en las zonas medias y altiplanos de San Luis Potosí. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. 2001, Folleto N° 12. México.

Whiley, A. W.; Schafer, B. y Wolstenholme, B. N. The Avocado Botany, production and uses. CABI Publishing. 2002. (P. 416).

Wossenu Abteu, Assefa Melesse. Evaporation and Evapotranspiration., South Florida Water Management District West Palm Beach, FL, Department of Earth and Environment Florida International University Miami, FL, USA. 2013ISBN 978-94-007-4736-4 ISBN 978-94-007-4737-1 (eBook) [DOI 10.1007/978-94-007-4737-1](https://doi.org/10.1007/978-94-007-4737-1)

Zelaya, C.; Rodriguez, J. CROPWAT: Estimación de la reducción porcentual en rendimientos en los cultivos de maíz y frijol. Guia metodológica - Modulo 2 diplomado. 2021. pp. 29

ANEXO

ANEXO 1. Factor de corrección mensual que depende de la latitud ecuación de

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

ANEXO 2. Información climatológica de las estaciones requeridas suministrada por IDEAM.

ANEXO 2.1. Estación meteorológica del municipio de Campoalegre (02/10/1977 Hasta 15/12/1983)

| VARIABLE | MUNICIPIO | | ESTACION | | CODIGO ESTACION | | TIPO DE ESTACION | | ELEVACION | | LATITUD | | LONGITUD | |
|------------------------|-------------|------|-------------|------|-----------------|------|---------------------|------|-----------|------|---------|------|----------|--|
| | CAMPOALEGRE | | LOS ROSALES | | 21105050 | | CLIMATICA PRINCIPAL | | 553 msnm | | 2,6 | | -75,42 | |
| MES | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOVI | DI | | |
| TEMPERATURA MAX (°C) | 31,3 | 31,5 | 31,6 | 30,8 | 31,5 | 32,1 | 32,3 | 33,6 | 33,6 | 32,1 | 30,4 | 30,2 | | |
| TEMPERATURA MIN (°C) | 20,8 | 21,6 | 22 | 21,6 | 21,7 | 21,5 | 21,6 | 22 | 22,4 | 21,6 | 21,4 | 20,9 | | |
| BRILLO SOLAR (Horas) | 6,8 | 6,8 | 6,4 | 6,5 | 6,2 | 5,9 | 6 | 6,6 | 6,9 | 6,9 | 6,5 | 6,7 | | |
| HUMEDAD RELATIVA (%) | 77 | 78 | 78 | 79 | 78 | 77 | 77 | 75 | 76 | 77 | 79 | 79 | | |
| VELOCIDAD VIENTO (m/s) | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,4 | 1,4 | | |

ANEXO 2.2. Estación meteorológica del municipio de Colombia (01/01/1979 Hasta 14/10/1981)

| VARIABLE | MUNICIPIO | | ESTACION | | CODIGO ESTACION | | TIPO DE ESTACION | | ELEVACION | | LATITUD | | LONGITUD | |
|------------------------|-----------|------|------------|------|-----------------|------|---------------------|------|-----------|------|---------|------|----------|--|
| | COLOMBIA | | LA LEGIOSA | | 21145070 | | CLIMATICA ORDINARIA | | 1476 msnm | | 3,31 | | -75,6 | |
| MES | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOVI | DIC | | |
| TEMPERATURA MAX (°C) | 23,7 | 23,3 | 23,5 | 22,5 | 22,5 | 21,2 | 20,8 | 21,2 | 22,5 | 23,2 | 23,4 | 24,5 | | |
| TEMPERATURA MIN (°C) | 16,4 | 16,6 | 16,9 | 16,7 | 16,8 | 16,1 | 15,8 | 15,8 | 16 | 16,5 | 16,6 | 16,2 | | |
| BRILLO SOLAR (Horas) | 6,8 | 6,8 | 6,4 | 6,5 | 6,2 | 5,9 | 6 | 6,6 | 6,9 | 6,9 | 6,5 | 6,7 | | |
| HUMEDAD RELATIVA (%) | 82 | 83 | 83 | 85 | 85 | 86 | 87 | 86 | 83 | 83 | 83 | 80 | | |
| VELOCIDAD VIENTO (m/s) | 2,1 | 2,1 | 1,6 | 1,9 | 1,9 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,1 | 2,1 | 2,1 | | |

ANEXO 2.3. Estación meteorológica del municipio La Plata (01/01/1979 Hasta 01/01/1988)

| VARIABLE | MUNICIPIO | | ESTACION | | CODIGO ESTACION | | TIPO DE ESTACION | | ELEVACION | | LATITUD | | LONGITUD | |
|------------------------|-----------|------|---------------------------|------|---------------------------|------|---------------------|------|-----------|------|---------|-----|----------|--|
| | LA PLATA | | ESCUELA AGRICOLA LA PLATA | | Escuela agricola la plata | | CLIMATICA ORDINARIA | | 1070 msnm | | 2,38 | | -75,6 | |
| MES | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOVI | DIC | | |
| TEMPERATURA MAX (°C) | 27,5 | 28,5 | 28,3 | 28,4 | 27,9 | 27 | 27,4 | 28,2 | 28,7 | 27,9 | 27,6 | 28 | | |
| TEMPERATURA MIN (°C) | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | | |
| BRILLO SOLAR (Horas) | 6,8 | 6,8 | 6,4 | 6,5 | 6,2 | 5,9 | 6 | 6,6 | 6,9 | 6,9 | 6,5 | 6,8 | | |
| HUMEDAD RELATIVA (%) | 93,8 | 91,4 | 93,4 | 92,8 | 92,2 | 90,6 | 90,8 | 86,5 | 86,5 | 91,5 | 92,2 | 93 | | |
| VELOCIDAD VIENTO (m/s) | 1,5 | 1,6 | 1,5 | 1,6 | 1,5 | 1,8 | 1,8 | 1,9 | 1,8 | 1,6 | 1,6 | 1,5 | | |

ANEXO 2.4. Estación meteorológica del municipio de Neiva (01/03/2000 Hasta 01/10/2010)

| VARIABLE | MUNICIPIO | | ESTACION | | CODIGO ESTACION | TIPO DE ESTACION | | | | ELEVACION | LATITUD | LONGITUD |
|------------------------|-----------|------|-------------------------|------|-----------------|----------------------|------|------|------|-----------|---------|----------|
| | NEIVA | | AEROPUERTO BENITO SALAS | | 21115020 | SINOPTICA SECUNDARIA | | | | 439 msnm | 2,95 | -75,6 |
| MES | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOVI | DIC |
| TEMPERATURA MAX (°C) | 31,9 | 32,1 | 30,9 | 31,6 | 32,6 | 33,6 | 34,2 | 34,3 | 34,5 | 34,4 | 33,2 | 33,8 |
| TEMPERATURA MIN (°C) | 22,1 | 22,2 | 22,2 | 22,2 | 22,3 | 22,6 | 22,8 | 23,4 | 23,2 | 22,7 | 22,8 | 23 |
| BRILLO SOLAR (Horas) | 6,8 | 6,8 | 6,4 | 6,5 | 6,2 | 5,9 | 6 | 6,6 | 6,9 | 6,9 | 6,5 | 6,7 |
| HUMEDAD RELATIVA (%) | 78 | 78 | 80 | 79 | 77 | 77 | 76 | 76 | 73 | 75 | 77 | 77 |
| VELOCIDAD VIENTO (m/s) | 2,1 | 2,1 | 1,6 | 1,9 | 1,9 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,1 | 2,1 | 1,4 |

ANEXO 2.5. Estación meteorológica del municipio de Palermo (01/01/1990 Hasta 01/01/2000)

| VARIABLE | MUNICIPIO | | ESTACION | | CODIGO ESTACION | TIPO DE ESTACION | | | | ELEVACION | LATITUD | LONGITUD |
|------------------------|-----------|------|----------|------|-----------------|---------------------|------|------|------|-----------|---------|----------|
| | PALERMO | | PALERMO | | 21125020 | CLIMATICA ORDINARIA | | | | 550 msnm | 2,91 | -75,44 |
| MES | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOVI | DIC |
| TEMPERATURA MAX (°C) | 31,2 | 31,2 | 32,3 | 32,3 | 32,5 | 32,1 | 33,5 | 35,5 | 32,8 | 31,3 | 30,1 | 30,2 |
| TEMPERATURA MIN (°C) | 20,7 | 20,5 | 21 | 21,1 | 20,7 | 20,4 | 20,5 | 21 | 20,6 | 20,6 | 21 | 20,8 |
| BRILLO SOLAR (Horas) | 6,8 | 6,8 | 6,4 | 6,5 | 6,2 | 5,9 | 6 | 6,6 | 6,9 | 6,9 | 6,5 | 6,7 |
| HUMEDAD RELATIVA (%) | 77 | 77 | 76 | 76 | 75 | 75 | 73 | 72 | 74 | 77 | 79 | 79 |
| VELOCIDAD VIENTO (m/s) | 1,1 | 1,2 | 1,2 | 1,3 | 1,8 | 2,3 | 2,6 | 1,8 | 1,4 | 1,1 | 0,9 | 0,9 |

ANEXO 2.6. Estación meteorológica del municipio de Pitalito (01/01/2000 Hasta 01/01/2010)

| VARIABLE | MUNICIPIO | | ESTACION | | CODIGO ESTACION | TIPO DE ESTACION | | | | ELEVACION | LATITUD | LONGITUD |
|------------------------|-----------|------|----------|------|-----------------|---------------------|------|------|------|-----------|---------|----------|
| | PITALITO | | SEVILLA | | 21015020 | CLIMATICA ORDINARIA | | | | 1320 msnm | 1,82 | -75,6 |
| MES | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOVI | DIC |
| TEMPERATURA MAX (°C) | 25,7 | 26,3 | 25,3 | 25,4 | 26 | 25,2 | 24,8 | 24,4 | 26,2 | 26,5 | 27,1 | 27,6 |
| TEMPERATURA MIN (°C) | 16,3 | 16 | 16,1 | 16,3 | 15,9 | 15,9 | 15,5 | 16,1 | 15 | 15,7 | 16,4 | 16,1 |
| BRILLO SOLAR (Horas) | 6,8 | 6,8 | 6,4 | 6,5 | 6,2 | 5,9 | 6 | 6,5 | 6,9 | 6,9 | 6,5 | 6,8 |
| HUMEDAD RELATIVA (%) | 78 | 77 | 78 | 79 | 77 | 78 | 79 | 80 | 75 | 76 | 74 | 75 |
| VELOCIDAD VIENTO (m/s) | 2,1 | 21 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2,2 | 2,1 | 2,1 | 2 |

ANEXO 2.7. Estación meteorológica del municipio de Rivera (01/01/2000 Hasta 01/01/2010)

| VARIABLE | MUNICIPIO | | ESTACION | | CODIGO ESTACION | TIPO DE ESTACION | | | | ELEVACION | LATITUD | LONGITUD |
|------------------------|-----------|-----|------------|-----|-----------------|------------------|-----|-----|-----|-----------|---------|----------|
| | RIVERA | | EL GUADUAL | | PLUVIOMETRICA | 21110440 | | | | 731 msnm | 2,78 | -75,26 |
| MES | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOVI | DIC |
| TEMPERATURA MAX (°C) | 29 | 29 | 28 | 26 | 25 | 23 | 23 | 25 | 27 | 28 | 28 | 28 |
| TEMPERATURA MIN (°C) | 21 | 21 | 22 | 22 | 21 | 20 | 20 | 20 | 20 | 21 | 21 | 21 |
| BRILLO SOLAR (Horas) | 6,8 | 6,8 | 6,4 | 6,5 | 6,2 | 5,9 | 6 | 6,6 | 6,9 | 6,9 | 6,5 | 6,7 |
| HUMEDAD RELATIVA (%) | 81 | 81 | 85 | 89 | 89 | 92 | 92 | 87 | 83 | 83 | 83 | 83 |
| VELOCIDAD VIENTO (m/s) | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,4 | 1,4 |

ANEXO 2.8. Estación meteorológica del municipio de Tello (24/10/2008 Hasta 16/07/2011)

| VARIABLE | MUNICIPIO | | ESTACION | | CODIGO ESTACION | TIPO DE ESTACION | | | | ELEVACION | LATITUD | LONGITUD |
|----------|-----------|-----|-----------|-----|-----------------|---------------------|-----|-----|-----|-----------|---------|----------|
| | TELLO | | PORTAL EL | | 21115070 | CLIMATICA ORDINARIA | | | | 581 msnm | 3,07 | -75,6 |
| MES | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOVI | DIC |

| | | | | | | | | | | | | |
|------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| TEMPERATURA MAX (°C) | 18,8 | 18,4 | 18,8 | 18,8 | 19,2 | 19,2 | 19,3 | 19,4 | 20 | 19,5 | 19,6 | 19,8 |
| TEMPERATURA MIN (°C) | 29,2 | 29,7 | 28,5 | 27,9 | 26,9 | 26,1 | 26,6 | 27,3 | 26,7 | 26 | 24,7 | 24,5 |
| BRILLO SOLAR (Horas) | 6,8 | 6,8 | 6,4 | 6,5 | 6,2 | 5,9 | 6 | 6,6 | 6,9 | 6,9 | 6,5 | 6,7 |
| HUMEDAD RELATIVA (%) | 77 | 75 | 78 | 79 | 81 | 83 | 82 | 81 | 83 | 84 | 87 | 88 |
| VELOCIDAD VIENTO (m/s) | 1,4 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,4 | 1,4 | 1,1 |

ANEXO 2.9. Estación meteorológica del municipio de Acevedo (03/03/1978 Hasta 24/08/1987)

| VARIABLE | MUNICIPIO | | ESTACION | | CODIGO ESTACION | | TIPO DE ESTACION | | ELEVACION | | LATITUD | LONGITUD |
|------------------------|-----------|------|---------------------|------|-----------------|------|---------------------|------|------------|------|---------|----------|
| | ACEVEDO | | CUEVA LOS GUACHAROS | | 21035030 | | CLIMATICA PRINCIPAL | | 2.225 msnm | | 1,58 | -76 |
| MES | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOVI | DIC |
| TEMPERATURA MAX (°C) | 22,4 | 22,6 | 22,3 | 21,8 | 22,3 | 21 | 20,5 | 20,8 | 21 | 21,3 | 22 | 21,5 |
| TEMPERATURA MIN (°C) | 12,2 | 11,9 | 12,6 | 12,4 | 12,6 | 12,5 | 11,6 | 11,3 | 12 | 12 | 12,3 | 12 |
| BRILLO SOLAR (Horas) | 6,8 | 6,8 | 6,4 | 6,5 | 6,2 | 5,9 | 6 | 6,5 | 6,9 | 6,9 | 6,6 | 6,8 |
| HUMEDAD RELATIVA (%) | 76 | 75 | 77 | 78 | 77 | 79 | 78 | 77 | 78 | 78 | 77 | 77 |
| VELOCIDAD VIENTO (m/s) | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |

ANEXO 2.10. Estación meteorológica del municipio de Isnos (01/01/2009 Hasta 01/01/2019)

| VARIABLE | MUNICIPIO | | ESTACION | | CODIGO ESTACION | | TIPO DE ESTACION | | ELEVACION | | LATITUD | LONGITUD |
|------------------------|-----------|-----|-------------------|-----|-----------------|-----|------------------|-----|-----------|-----|---------|----------|
| | ISNOS | | SAN JOSE DE ISNOS | | 21010050 | | PLUVIOMETRICA | | 1806 msnm | | 1,94 | -76,24 |
| MES | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOVI | DIC |
| TEMPERATURA MAX (°C) | 22 | 21 | 21 | 21 | 20 | 19 | 19 | 20 | 21 | 22 | 21 | 21 |
| TEMPERATURA MIN (°C) | 15 | 15 | 16 | 16 | 15 | 14 | 14 | 13 | 14 | 15 | 16 | 15 |
| BRILLO SOLAR (Horas) | 6,8 | 6,8 | 6,4 | 6,5 | 6,2 | 5,9 | 6,0 | 6,6 | 6,9 | 6,9 | 6,5 | 6,8 |
| HUMEDAD RELATIVA (%) | 82 | 84 | 87 | 87 | 86 | 86 | 86 | 82 | 82 | 82 | 87 | 84 |
| VELOCIDAD VIENTO (m/s) | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,2 | 1,6 | 1,6 | 1,6 |

ANEXO 2.11. Estación meteorológica del municipio de San Agustín (01/01/2009 Hasta 01/01/2019)

| VARIABLE | MUNICIPIO | | ESTACION | | CODIGO ESTACION | | TIPO DE ESTACION | | ELEVACION | | LATITUD | LONGITUD |
|------------------------|-------------|------|---------------------|------|-----------------|------|------------------|------|-----------|------|---------|----------|
| | SAN AGUSTIN | | PARQUE ARQUEOLOGICO | | 21015030 | | PLUVIOMETRICA | | 1800 | | 1,89 | -76,29 |
| MES | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOVI | DIC |
| TEMPERATURA MAX (°C) | 24,6 | 25,4 | 25,1 | 24,3 | 23,4 | 22,9 | 21,7 | 24,5 | 25,2 | 25,3 | 25,8 | 25,9 |
| TEMPERATURA MIN (°C) | 13,6 | 13,7 | 14,1 | 13,6 | 13,8 | 13,7 | 12,8 | 12,7 | 13 | 13,3 | 13,9 | 13 |
| BRILLO SOLAR (Horas) | 6,8 | 6,8 | 6,4 | 6,5 | 6,2 | 5,9 | 6 | 6,6 | 6,9 | 6,5 | 6,5 | 6,8 |
| HUMEDAD RELATIVA (%) | 73 | 71 | 73 | 75 | 74 | 77 | 80 | 74 | 72 | 72 | 70 | 69 |
| VELOCIDAD VIENTO (m/s) | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |

ANEXO 2.12. Estación meteorológica del municipio de Algeciras (01/02/1978 Hasta 15/04/1991)

| VARIABLE | MUNICIPIO | | ESTACION | | CODIGO ESTACION | | TIPO DE ESTACION | | ELEVACION | | LATITUD | LONGITUD |
|----------------------|-----------|------|---------------|------|-----------------|------|---------------------|------|-----------|------|---------|----------|
| | ALGECIRAS | | ALGECIRAS-AUT | | 21105030 | | CLIMATICA ORDINARIA | | 1528 msnm | | 2,52 | -75,32 |
| MES | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOVI | DIC |
| TEMPERATURA MAX (°C) | 29,7 | 30,4 | 27,9 | 29,7 | 29,9 | 30,4 | 30,8 | 31,8 | 31 | 30,2 | 29,8 | 29,5 |
| TEMPERATURA MIN (°C) | 16 | 15,1 | 16,3 | 16,4 | 16,3 | 16,6 | 16,3 | 15,9 | 16,4 | 17,2 | 17,7 | 16,3 |
| BRILLO SOLAR (Horas) | 6,8 | 6,8 | 6,4 | 6,5 | 6,25,9 | 5,9 | 6 | 6,6 | 6,9 | 6,9 | 6,5 | 6,8 |

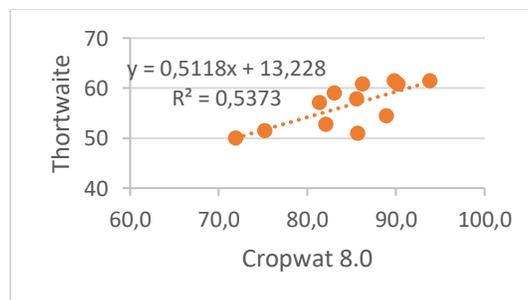
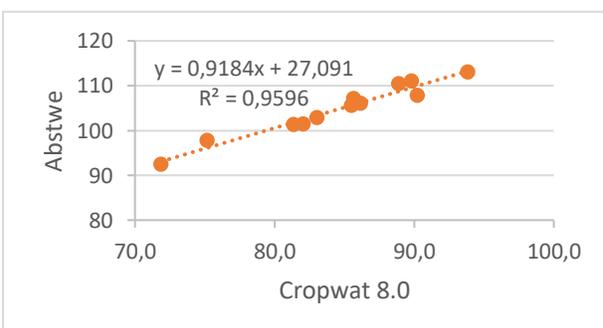
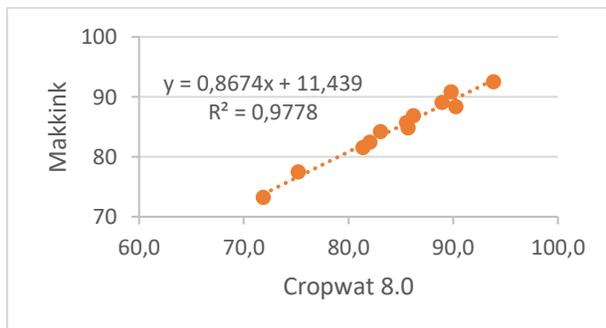
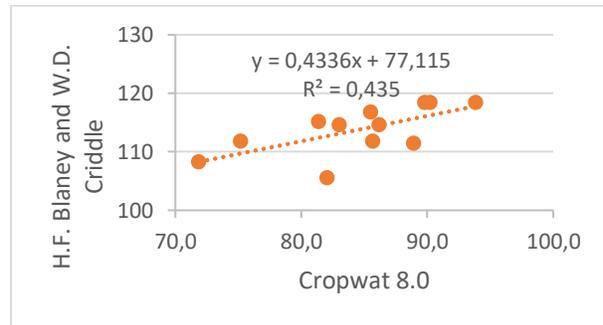
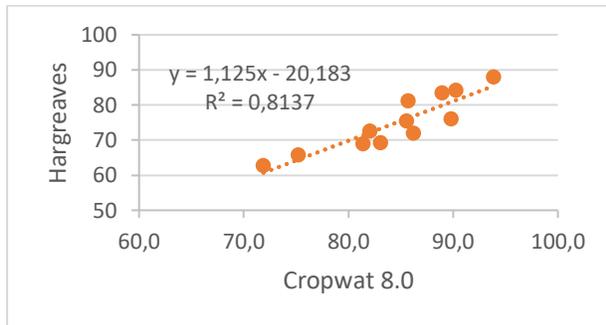
| | | | | | | | | | | | | |
|------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| HUMEDAD RELATIVA (%) | 72 | 70 | 75 | 72 | 72 | 72 | 71 | 69 | 71 | 73 | 74 | 72 |
| VELOCIDAD VIENTO (m/s) | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |

ANEXO 2.13. Estación meteorológica del municipio de Garzón (01/01/1979 Hasta 15/06/1981)

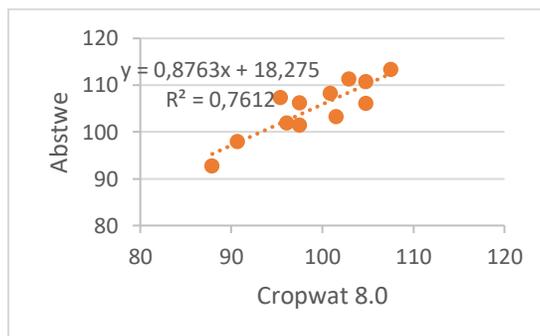
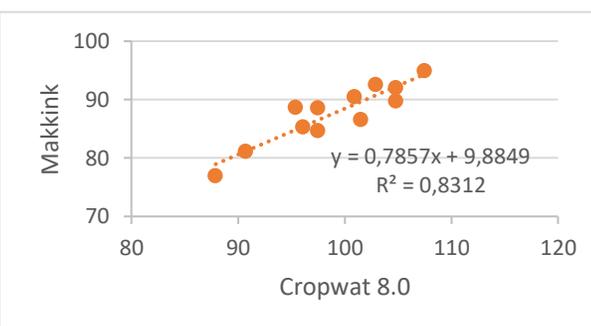
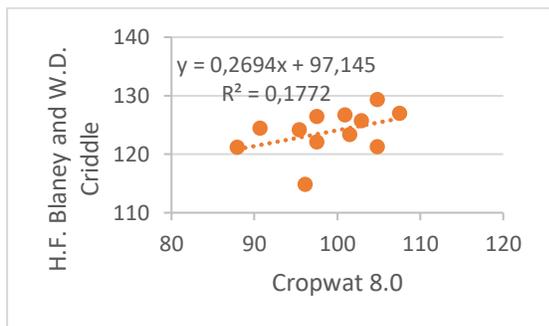
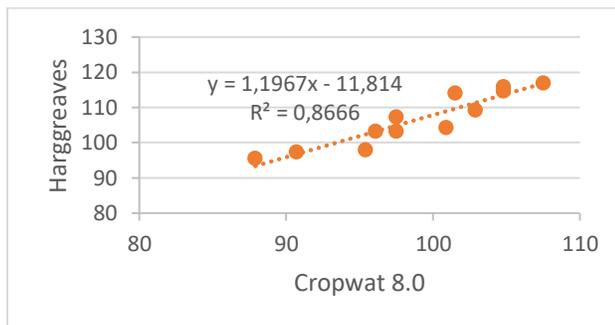
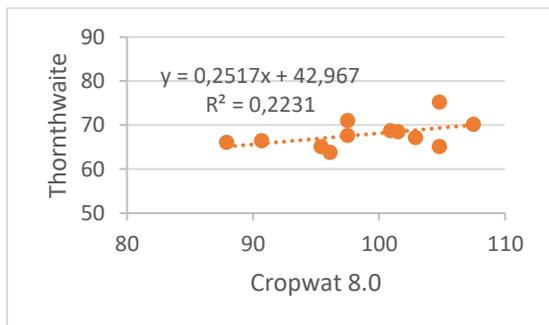
| VARIABLE | MUNICIPIO | | ESTACION | | CODIGO ESTACION | TIPO DE ESTACION CLIMATICA ORDINARIA | ELEVACION | LATITUD | LONGITUD | | | |
|------------------------|-----------|---------|----------|------|-----------------|--------------------------------------|-----------|---------|----------|------|------|------|
| | GARZON | ZULUAGA | | | | | | | | | | |
| MES | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOVI | DIC |
| TEMPERATURA MAX (°C) | 26,8 | 27 | 26,7 | 26 | 26,1 | 25,7 | 25,8 | 26 | 25,9 | 26,4 | 26,2 | 27,6 |
| TEMPERATURA MIN (°C) | 15,2 | 15,1 | 15,9 | 15,9 | 15,6 | 15,6 | 14,9 | 14,9 | 15,2 | 15,2 | 15,5 | 14,7 |
| BRILLO SOLAR (Horas) | 6,8 | 6,8 | 6,4 | 6,5 | 6,2 | 5,9 | 6 | 6,6 | 6,9 | 6,9 | 6,5 | 6,8 |
| HUMEDAD RELATIVA (%) | 75 | 74 | 76 | 77 | 76 | 77 | 76 | 75 | 76 | 75 | 76 | 73 |
| VELOCIDAD VIENTO (m/s) | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |

ANEXO 3. Coeficiente de determinación R² de los cultivos y sus correspondientes municipios.

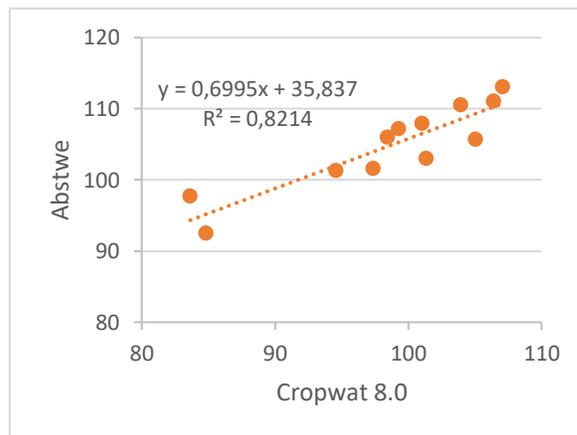
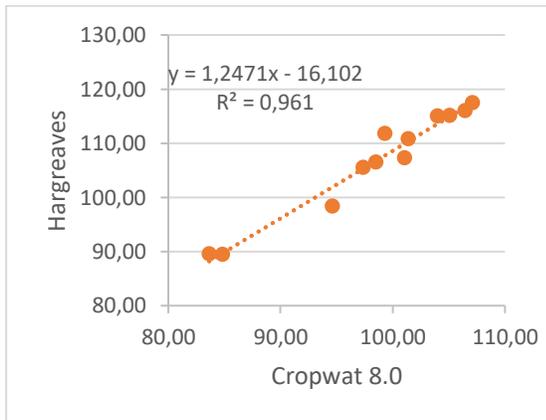
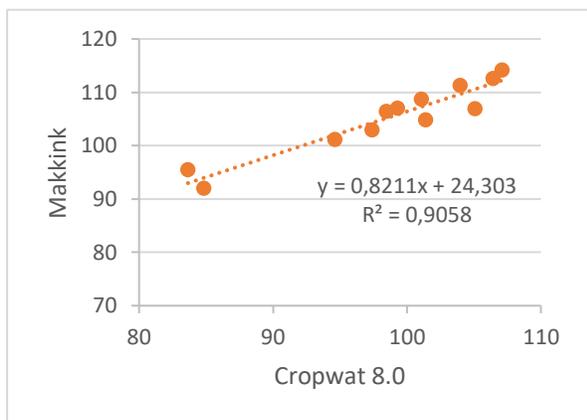
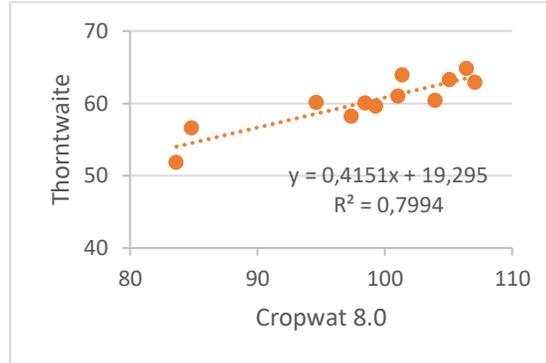
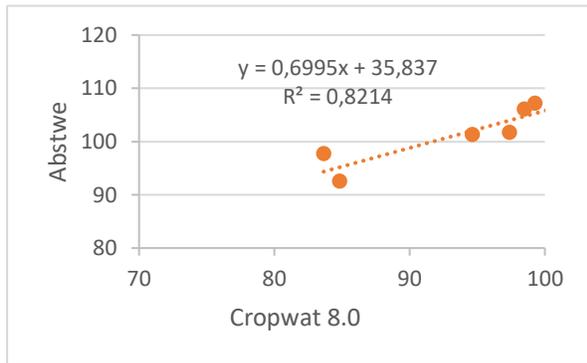
ANEXO 3.1. Aguacate – Isnos: R² Cropwat 8.0 Vs Blaney and Criddle/ Thornthwaite/ Makkink/ Hargreaves/ Abstwe.



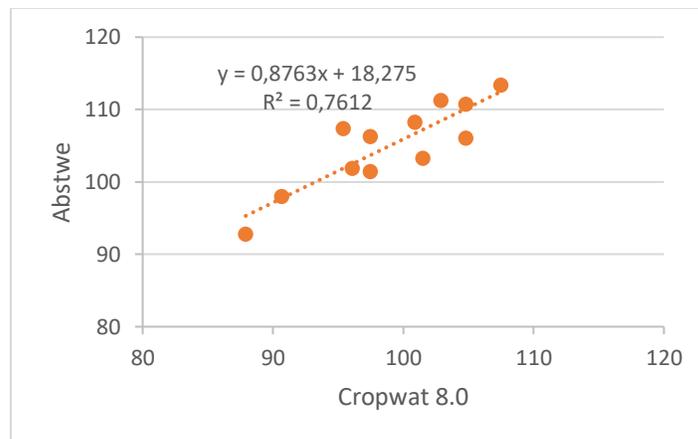
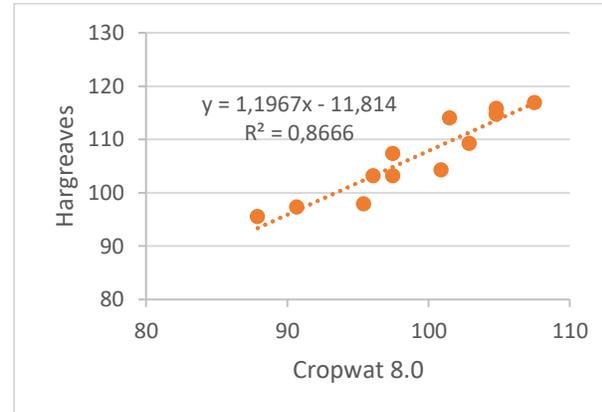
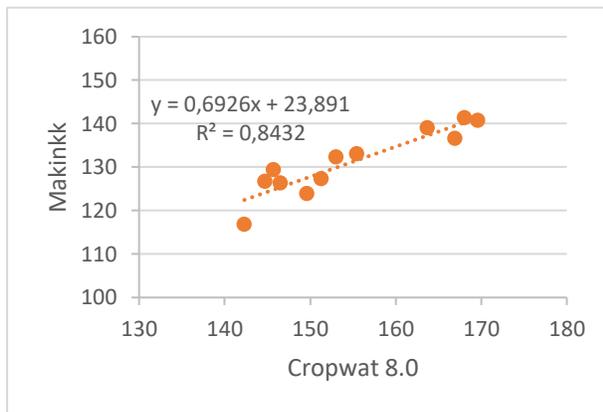
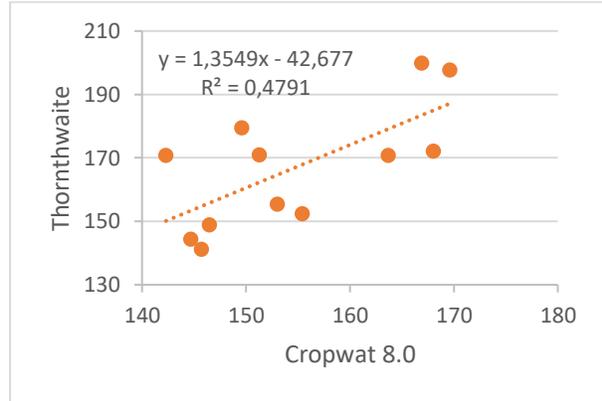
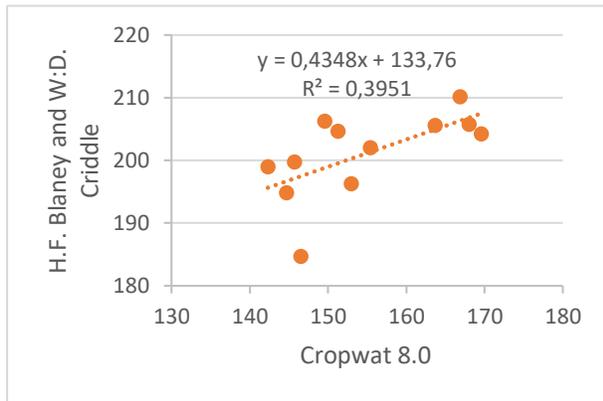
ANEXO 3.2. Aguacate – Pitalito: R² Cropwat 8.0 Vs Blaney and Criddle/ Thornthwaite/ Makkink/ Hargreaves/ Abstwe.



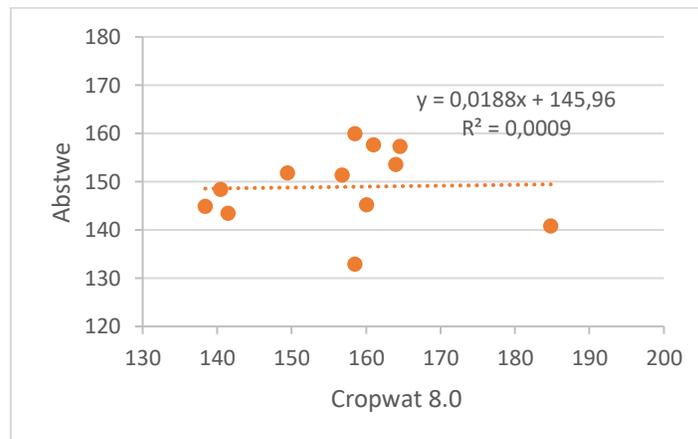
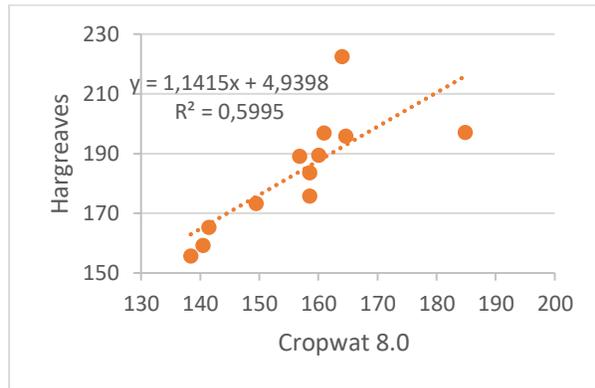
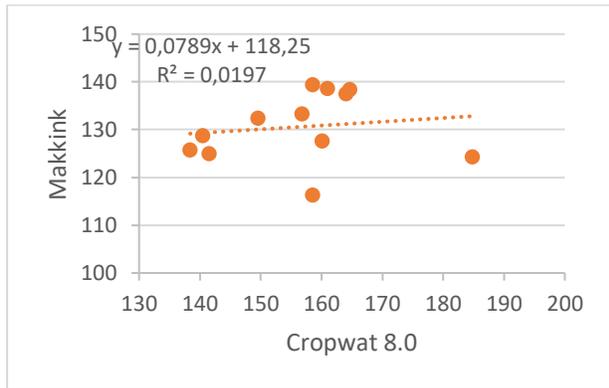
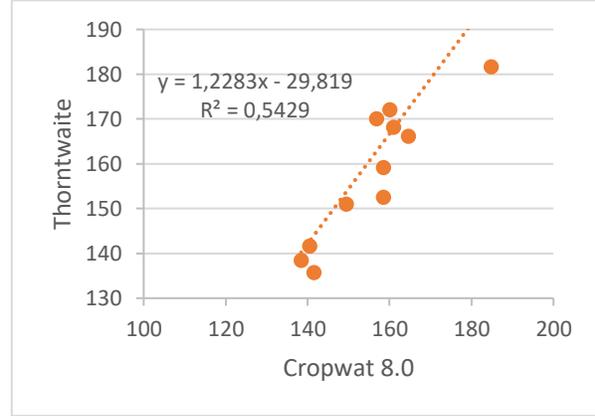
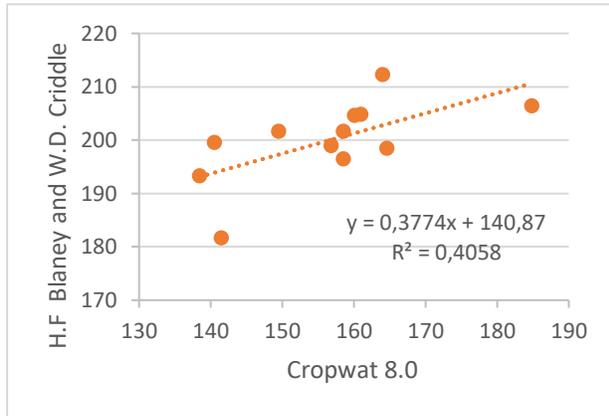
ANEXO 3.3. Aguacate – San Agustín: R² Cropwat 8.0 Vs Blaney and Criddle/ Thornthwaite/ Makkink/ Hargreaves/ Abste.



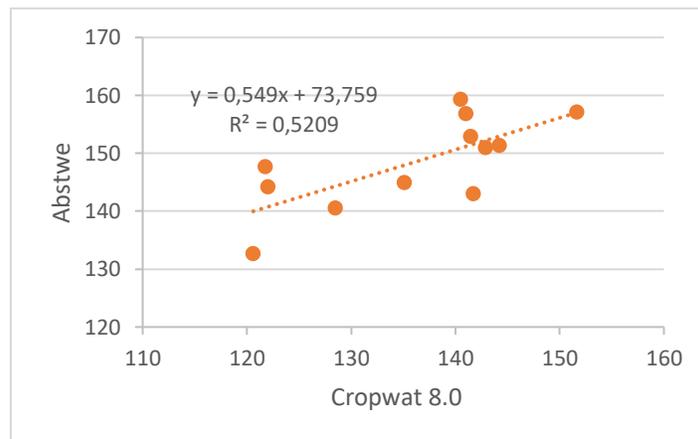
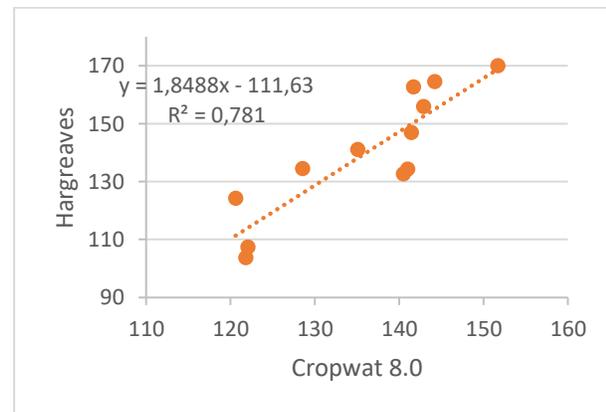
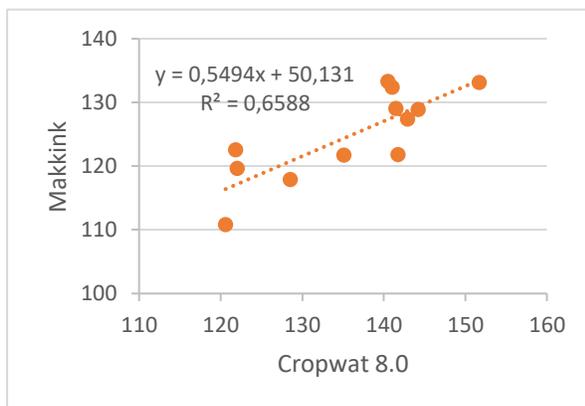
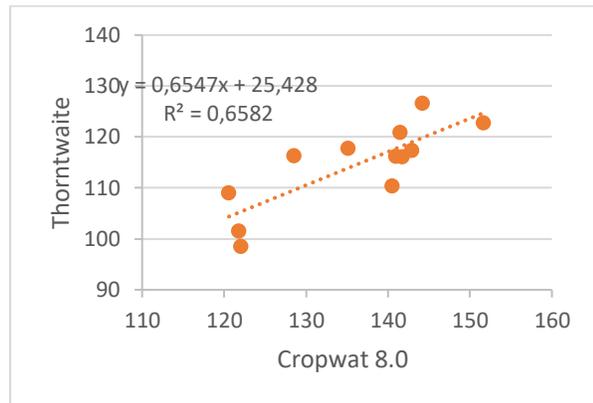
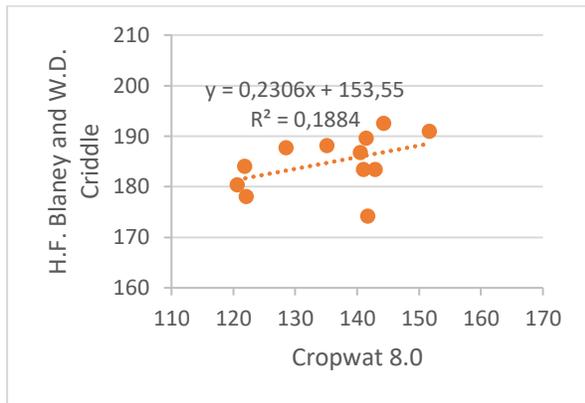
ANEXO 3.4. Arroz – Campoalegre: R² Cropwat 8.0 Vs Blaney and Criddle/ Thornthwaite/ Makkink/ Hargreaves/ Abste.



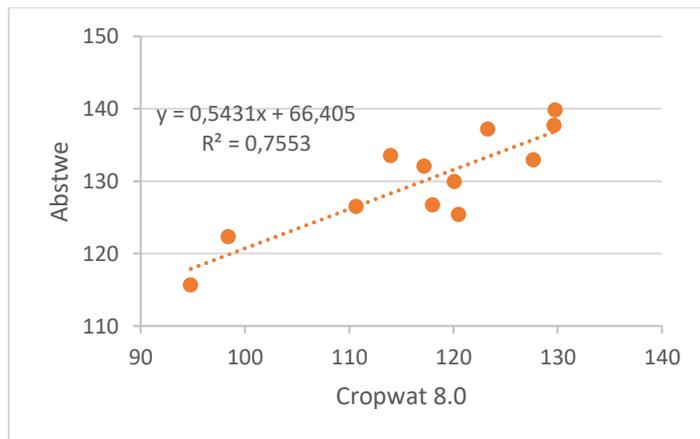
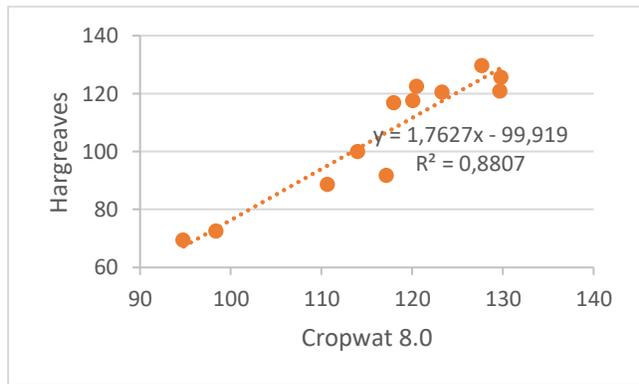
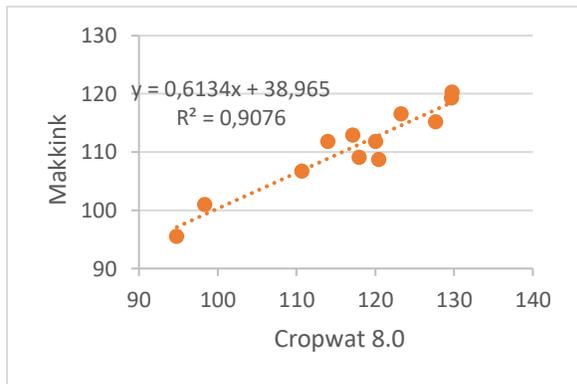
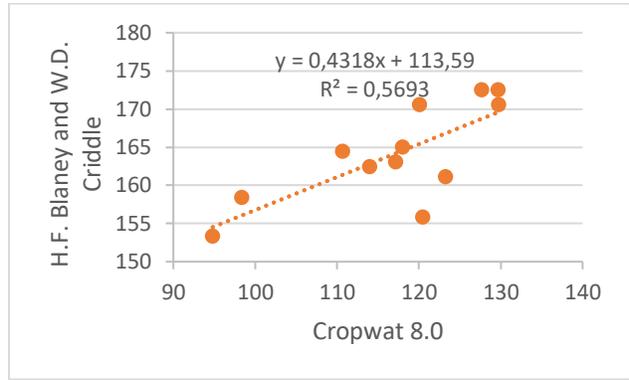
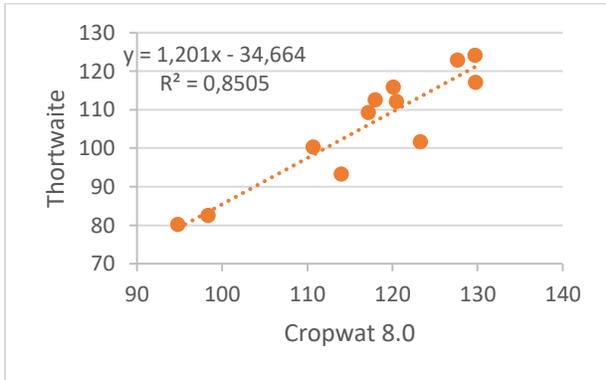
ANEXO 3.5. **Arroz – Palermo:** R² Cropwat 8.0 Vs Blaney and Criddle/ Thornthwaite/ Makkink/ Hargreaves/ Abstwe.



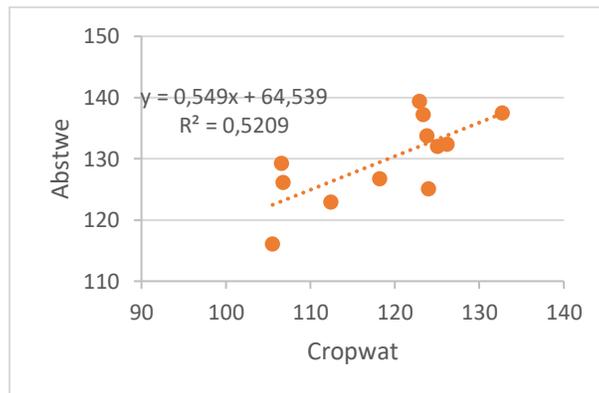
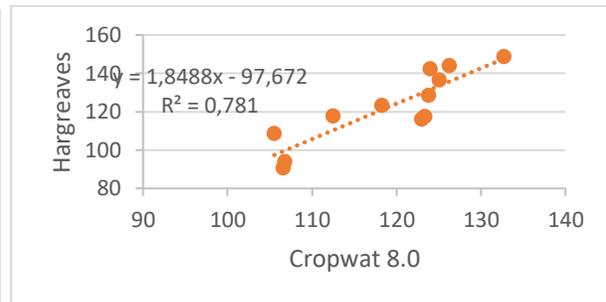
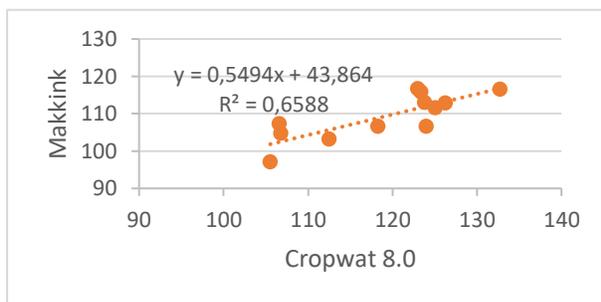
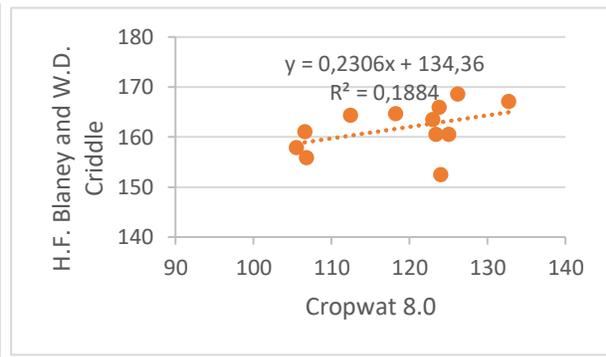
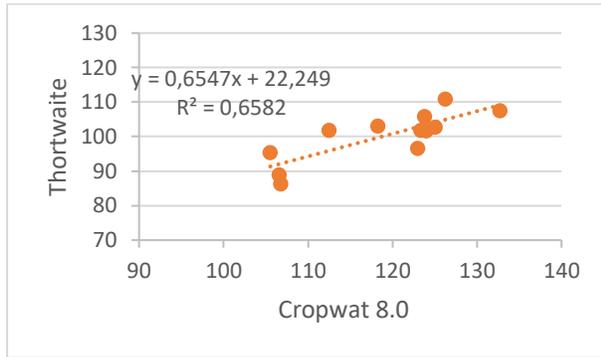
ANEXO 3.6. Arroz – Tello: R² Cropwat 8.0 Vs Blaney and Criddle/ Thornthwaite/ Makkink/ Hargreaves/ Absteve.



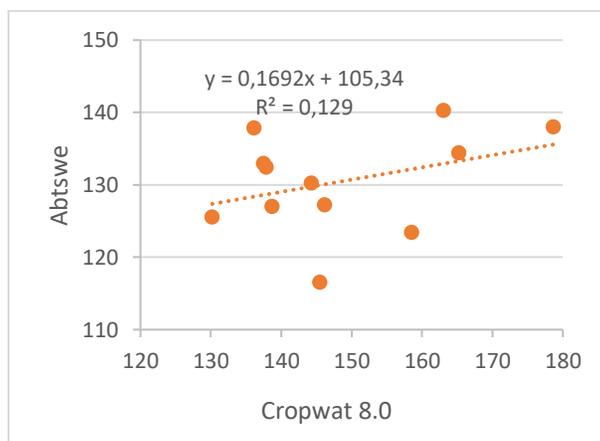
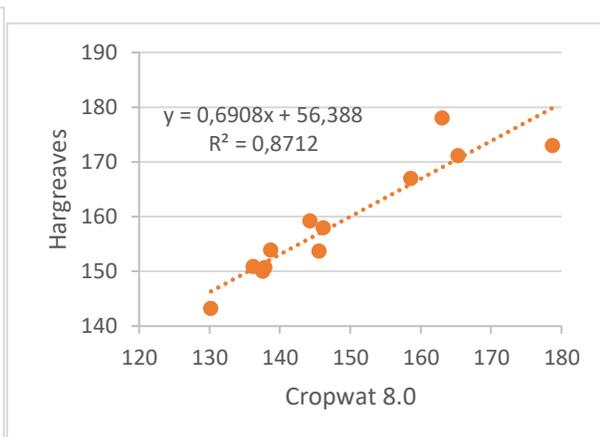
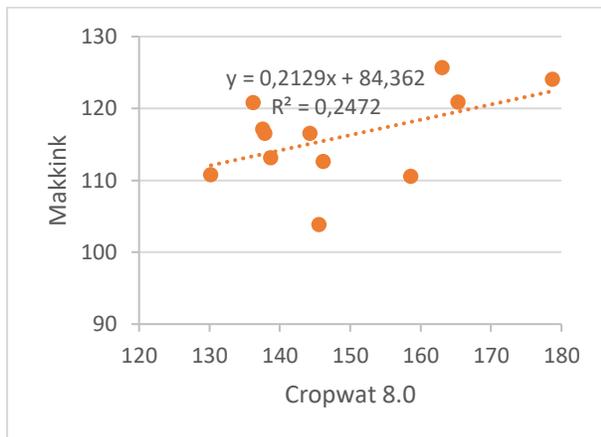
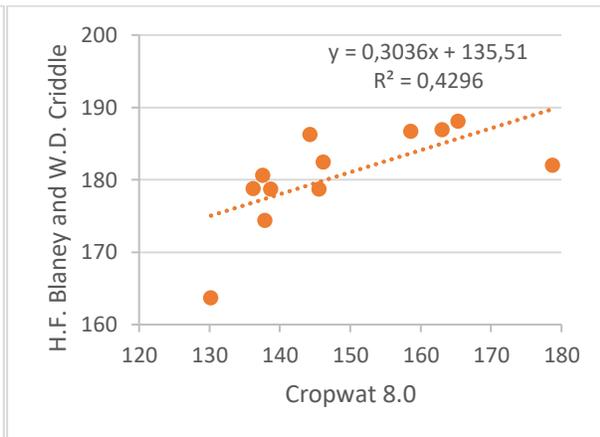
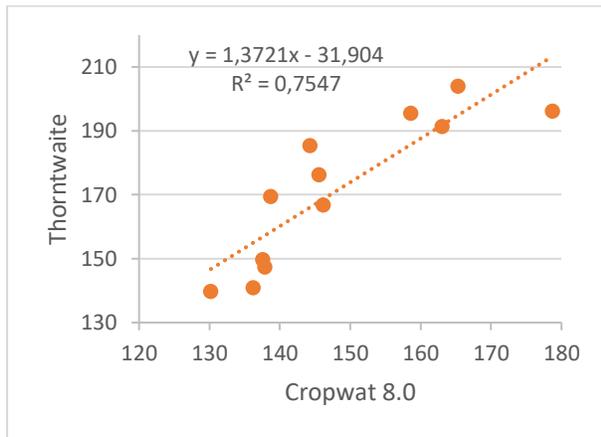
ANEXO 3.7. Cacao – Rivera: R² Cropwat 8.0 Vs Blaney and Criddle/ Thornthwaite/ Makkink/ Hargreaves/ Abstwe.



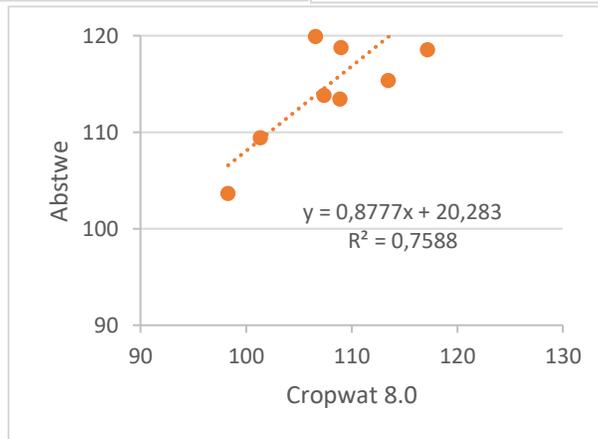
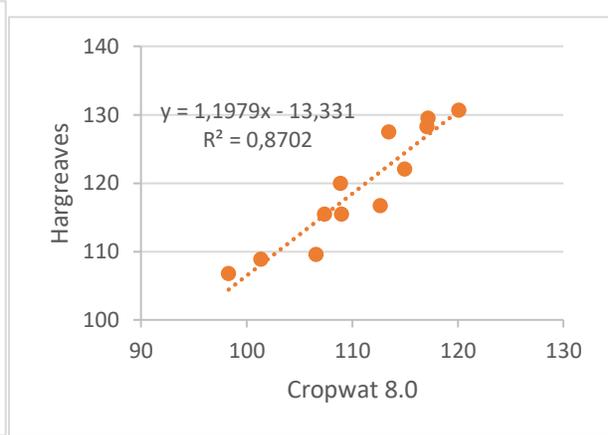
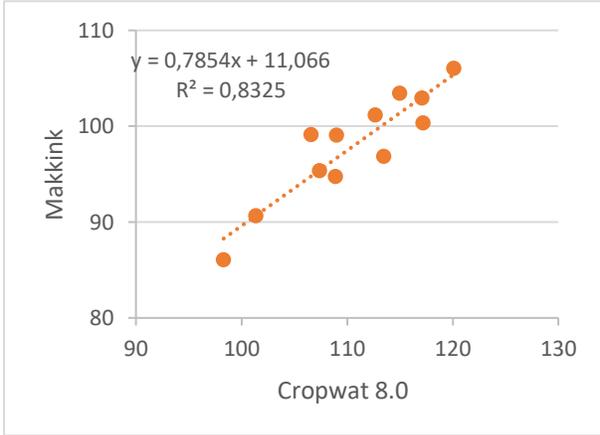
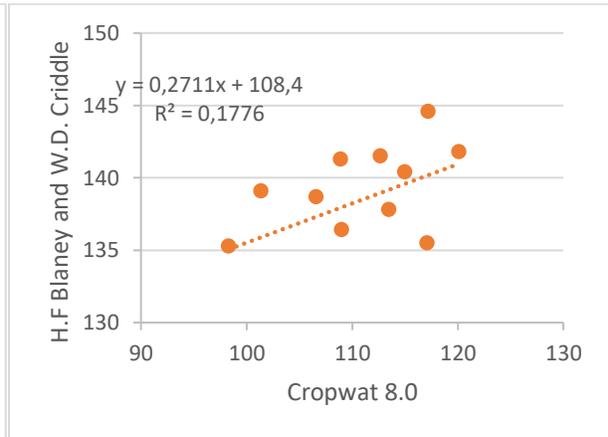
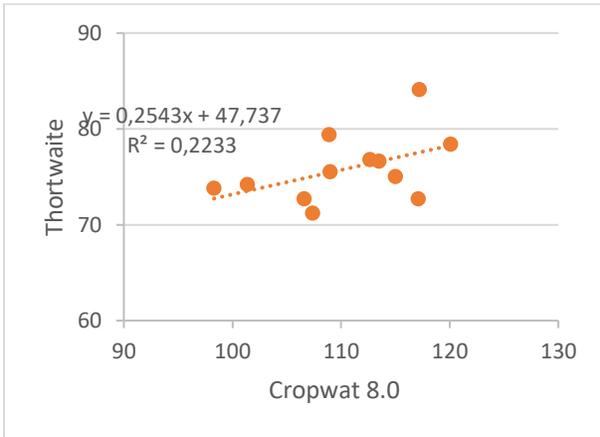
ANEXO 3.8. Cacao – Tello: R² Cropwat 8.0 Vs Blaney and Criddle/ Thornthwaite/ Makkink/ Hargreaves/ Abstwe.



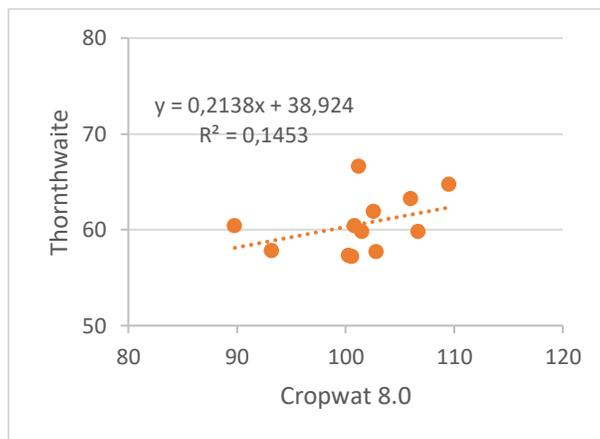
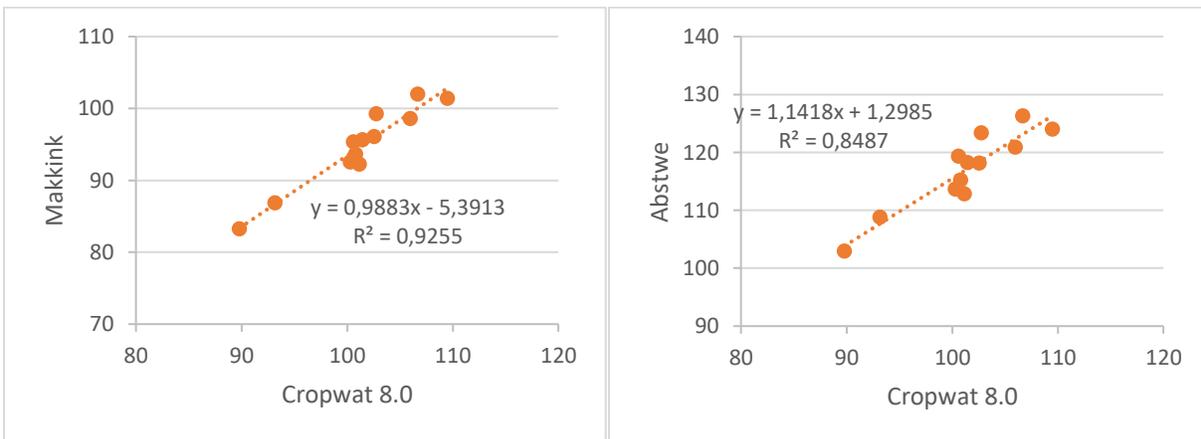
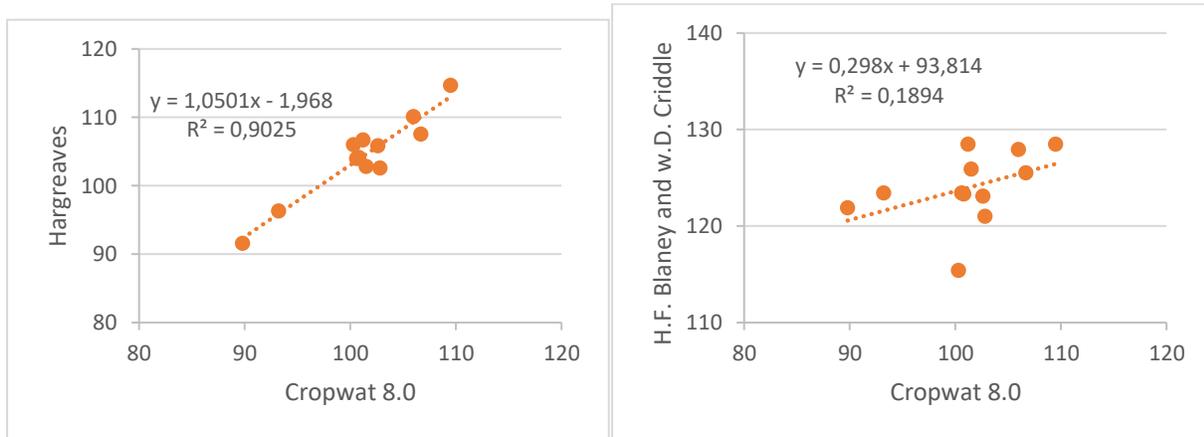
ANEXO 3.9. **Cacao – Neiva:** R² Cropwat 8.0 Vs Blaney and Criddle/ Thornthwaite/ Makkink/ Hargreaves/ Abtswe.



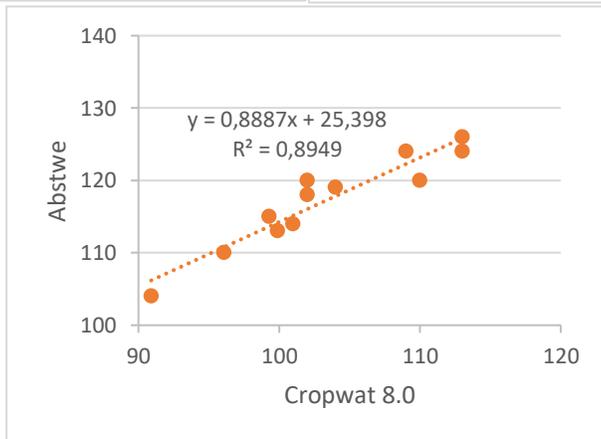
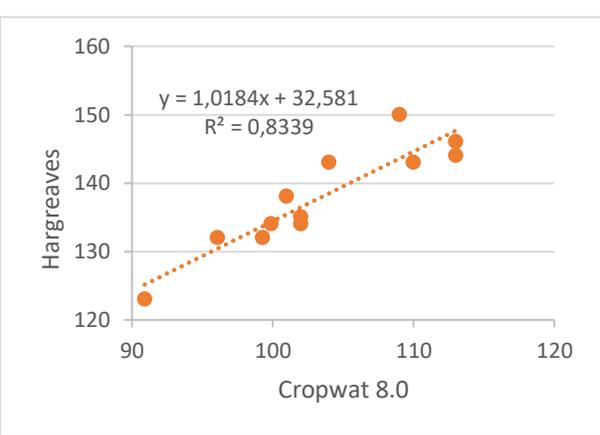
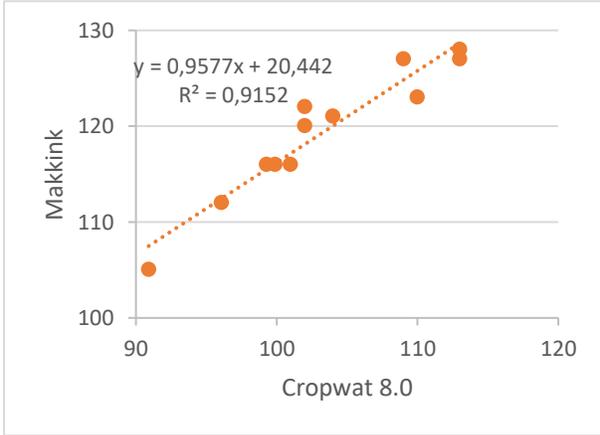
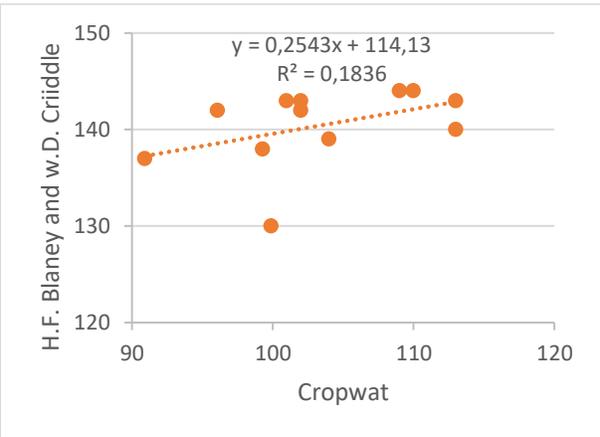
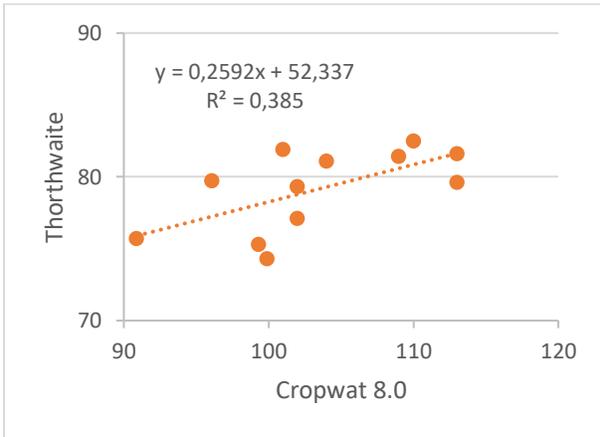
ANEXO 3.10. Cafe – Pitalito: R² Cropwat 8.0 Vs Blaney and Criddle/ Thornthwaite/ Makkink/ Hargreaves/ Abstwe.



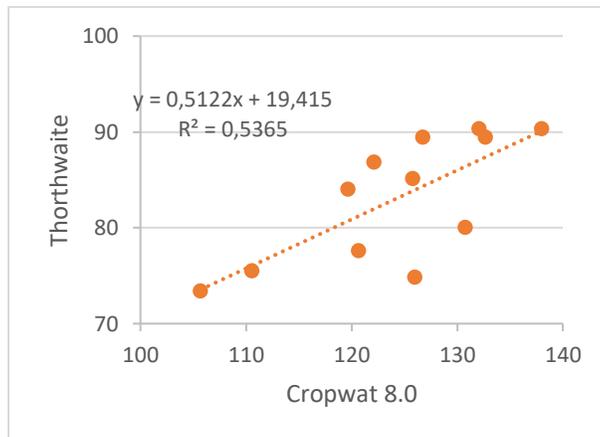
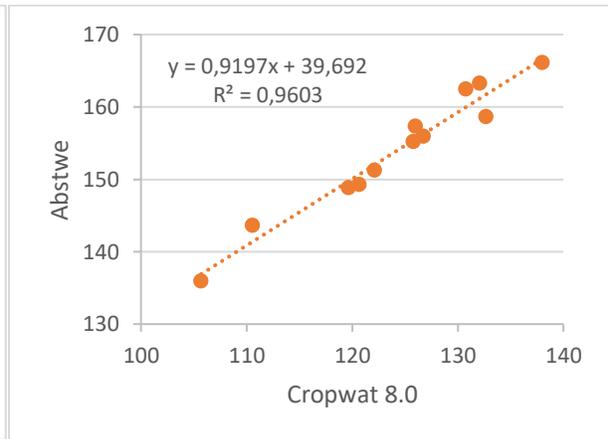
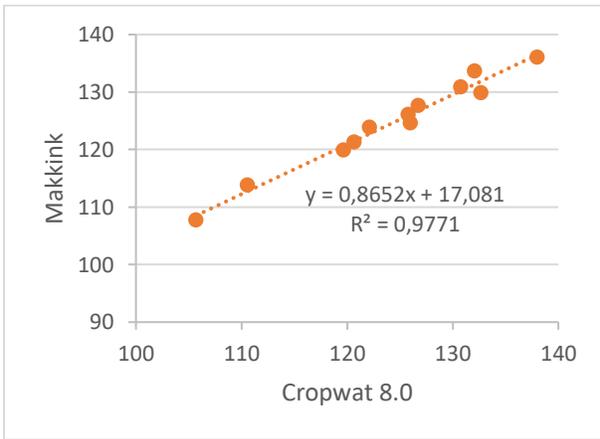
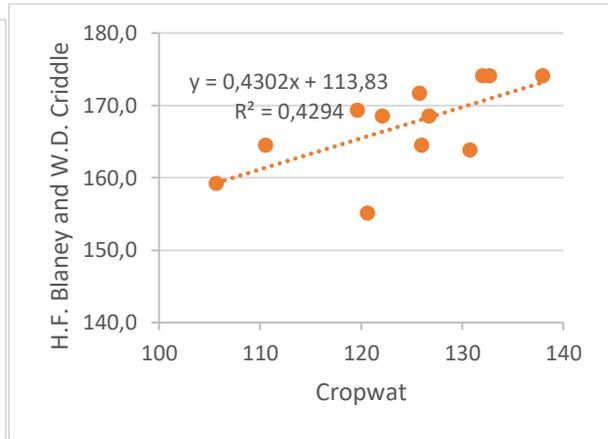
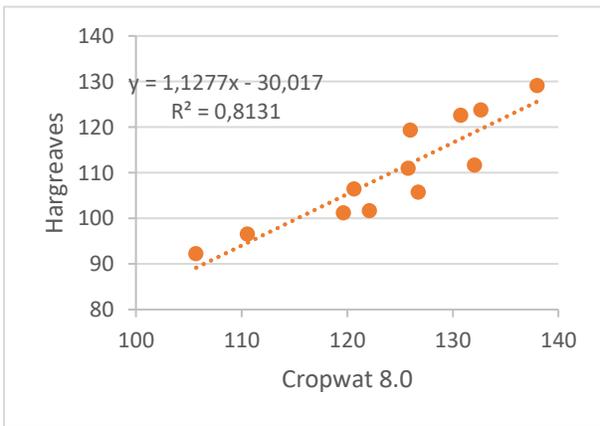
ANEXO 3.11. **Cafe – Acevedo:** R² Cropwat 8.0 Vs Blaney and Criddle/ Thornthwaite/ Makkink/ Hargreaves/ Abste.



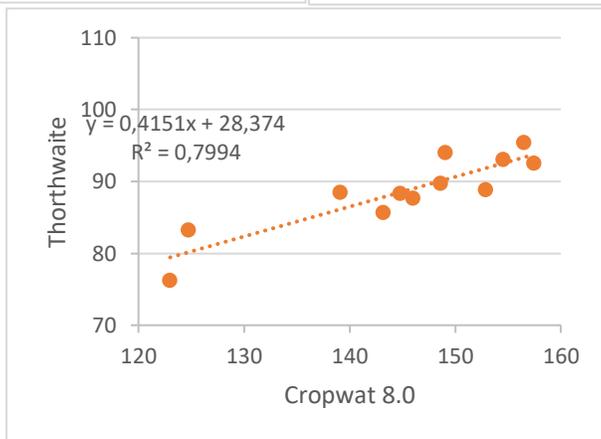
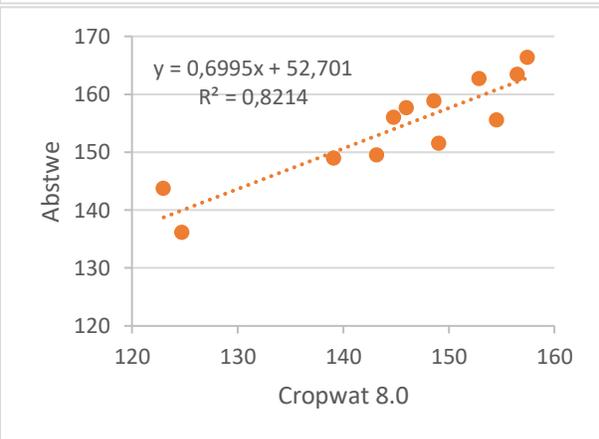
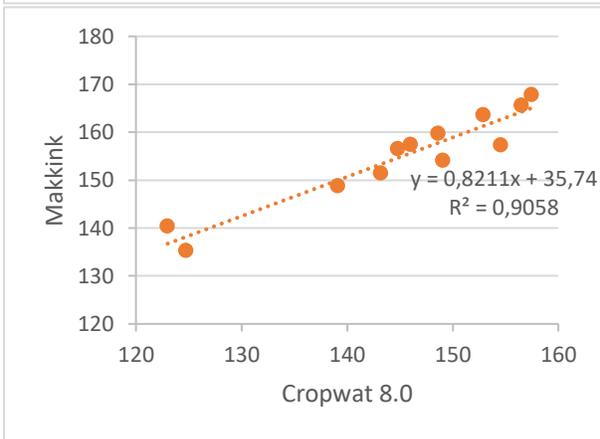
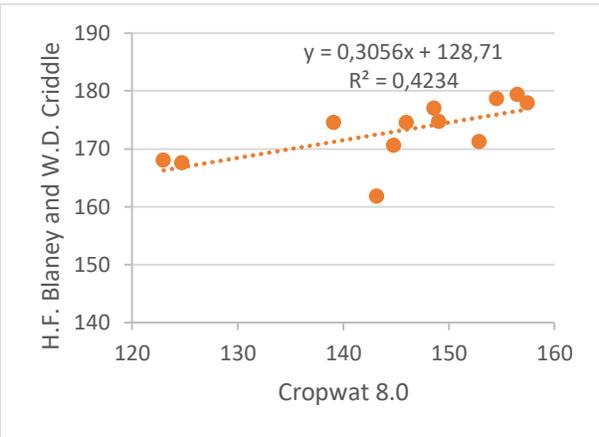
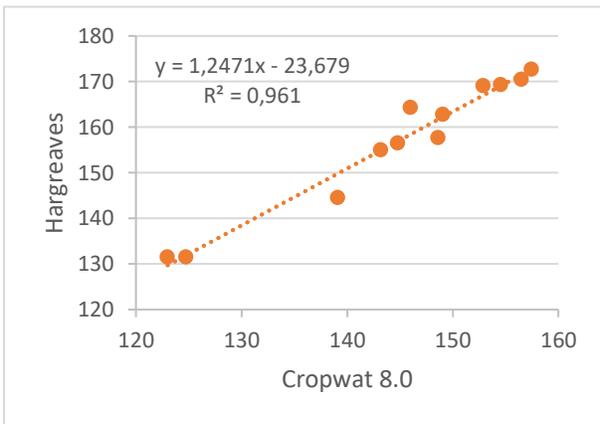
ANEXO 3.12. **Cafe – La Plata:** R² Cropwat 8.0 Vs Blaney and Criddle/ Thornthwaite/ Makkink/ Hargreaves/ Abstwe.



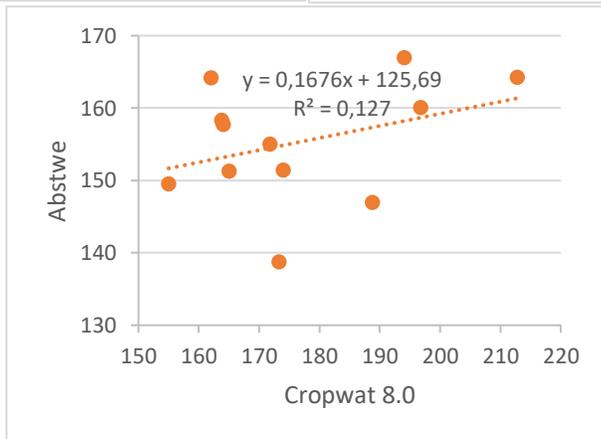
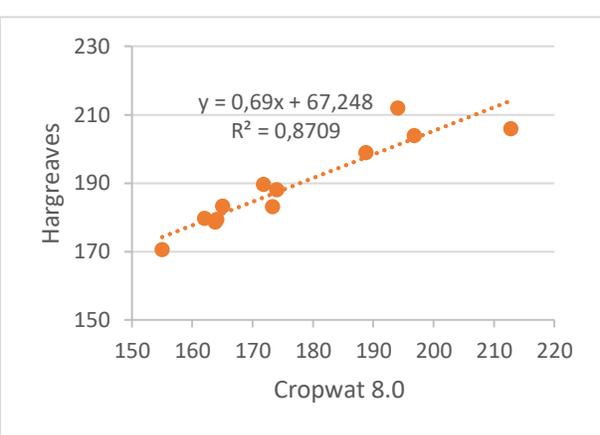
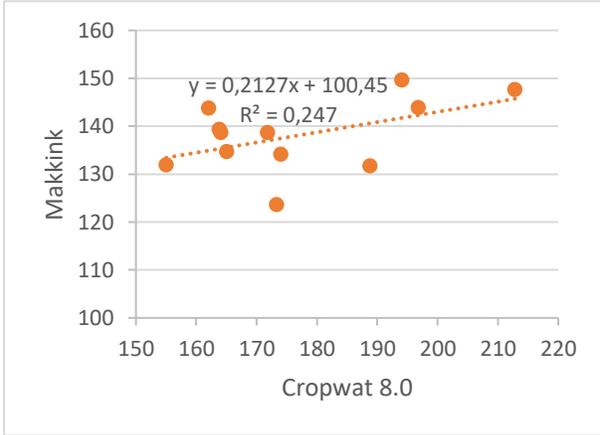
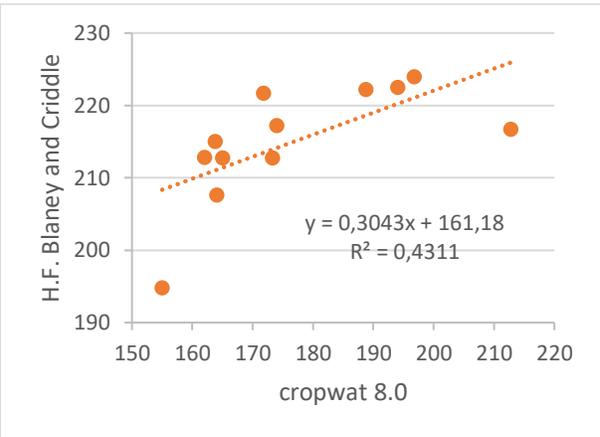
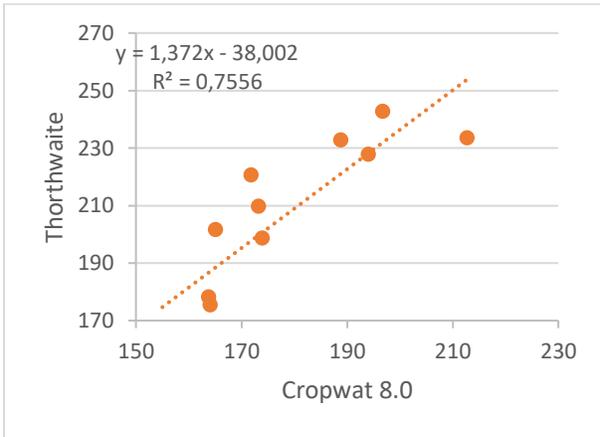
ANEXO 3.13. Caña de azúcar – Isnos: R² Cropwat 8.0 Vs Blaney and Criddle/ Thornthwaite/ Makkink/ Hargreaves/ Absteve.



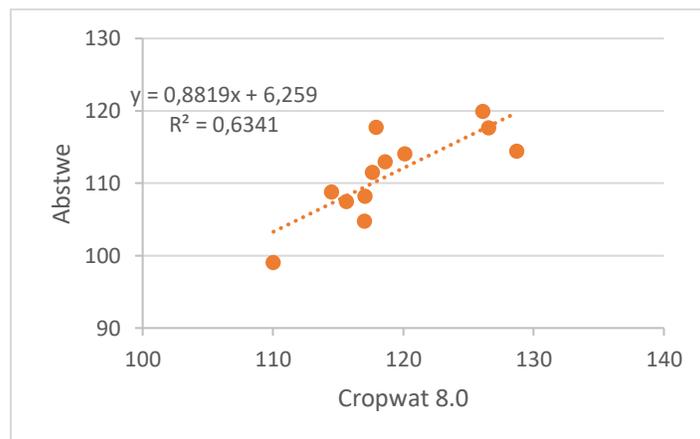
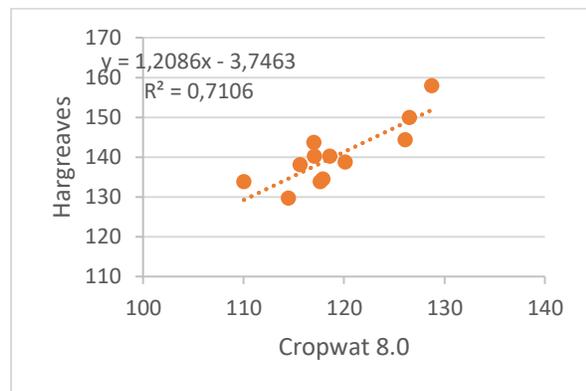
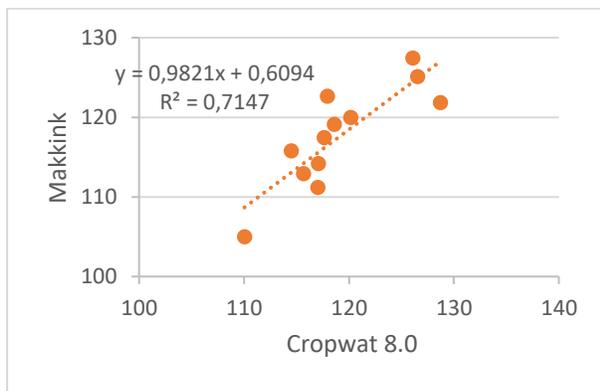
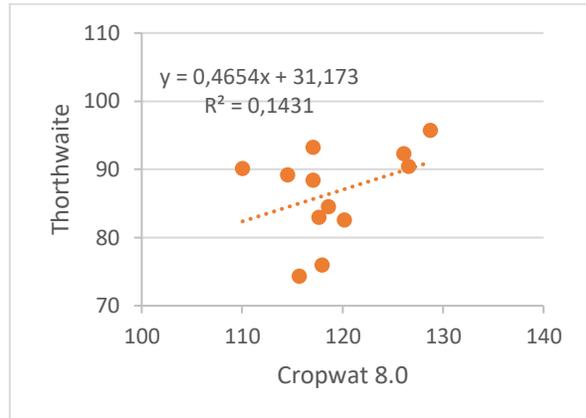
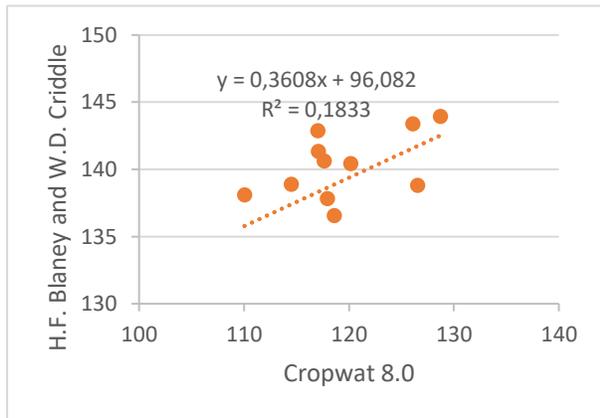
ANEXO 3.14. Caña de azúcar – San Agustín: R² Cropwat 8.0 Vs Blaney and Criddle/ Thornthwaite/ Makkink/ Hargreaves/ Abste.



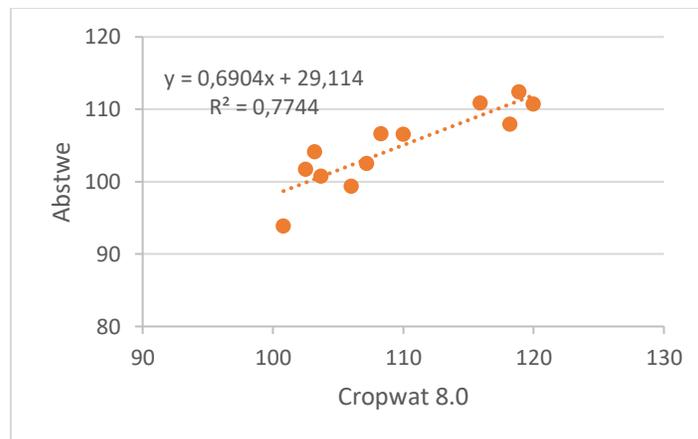
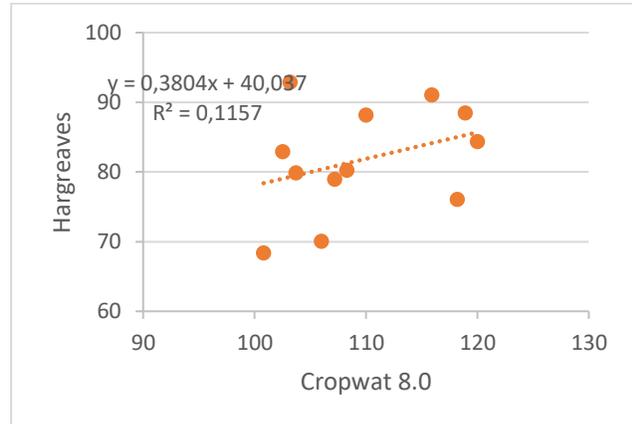
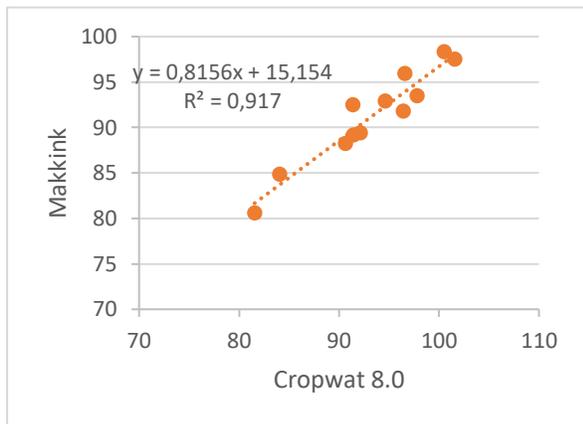
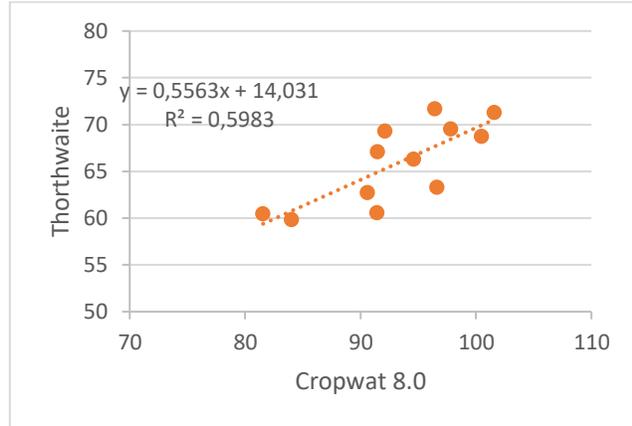
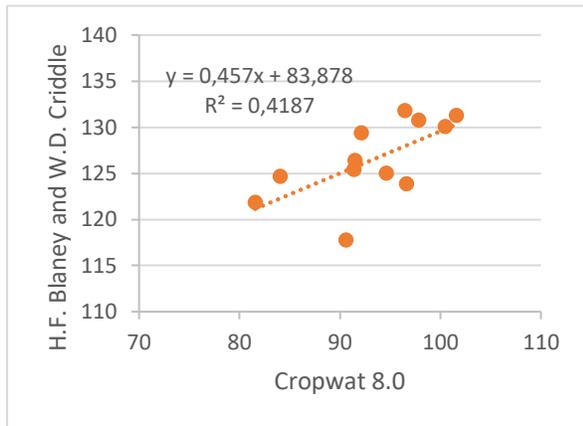
ANEXO 3.15. Caña de azúcar – Neiva: R² Cropwat 8.0 Vs Blaney and Criddle/ Thornthwaite/ Makkink/ Hargreaves/ Absteve.



ANEXO 3.16. **Granadilla – Algeciras:** R² Cropwat 8.0 Vs Blaney and Criddle/ Thornthwaite/ Makkink/ Hargreaves/ Absteve.



ANEXO 3.17. Granadilla – Colombia: R² Cropwat 8.0 Vs Blaney and Criddle/ Thornthwaite/ Makkink/ Hargreaves/ Absteve.



ANEXO 3.18. Granadilla – Garzon: R² Cropwat 8.0 Vs Blaney and Criddle/ Thornthwaite/ Makkink/ Hargreaves/ Absteve.

