

UNIVERSIDAD DE PANAMÁ
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

**ELABORACIÓN DE UNA PROPUESTA DE UN MANUAL TÉCNICO
PARA EL CÁLCULO DE DOTACIÓN DE AGUA PARA USO
AGRÍCOLA EN PANAMÁ**

MIGUEL A. SÁEZ C.

9 – 745 – 1173

DAVID, CHIRIQUÍ
REPÚBLICA DE PANAMÁ

2018

**ELABORACIÓN DE UNA PROPUESTA DE UN MANUAL TÉCNICO
PARA EL CÁLCULO DE DOTACIÓN DE AGUA PARA USO
AGRÍCOLA EN PANAMÁ**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN SOMETIDO PARA OPTAR POR EL
TÍTULO DE INGENIERO EN MANEJO DE CUENCAS Y AMBIENTE**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**

**PERMISO PARA SU PUBLICACIÓN, REPRODUCCIÓN TOTAL O
PARCIAL DEBE SER OBTENIDO DE LA FACULTAD DE
CIENCIAS AGROPECUARIAS**

APROBADO:

PROF. ING. NOÉ AGUILAR

DIRECTOR

PROF. ING. CECILIO ESTRIBÍ

MIEMBRO

PROF. ING. TIRSO SOLÍS

MIEMBRO

DAVID, CHIRIQUÍ

REPÚBLICA DE PANAMÁ

2018

AGRADECIMIENTOS

A Dios, porque sin él somos nada, *“Y todo lo que hagan, de palabra o de obra, háganlo en el nombre del Señor Jesús, dando gracias a Dios el padre, por medio de él”* (Colosense 3:17) *“porque todas las cosas proceden de él y existen por él y para él. ¡A él sea la gloria por siempre! Amen”* (Romanos 11:36)

A mis padres por el gran sacrificio que han hecho a lo largo de mi carrera, por brindarme el apoyo y la motivación para no desistir y seguir en busca de mi sueño, soy consciente que en ciertas ocasiones dejaban de comprar sus cosas para que yo tuviera lo necesario siempre. Tengo la Fe de que el Dios Todopoderoso les compensará todo su esfuerzo. Sé que están muy orgullosos de mí, así como yo estoy orgulloso de ustedes.

A mi asesor, profesor Ing. Noé Aguilar Valdés, quien me brindó las herramientas necesarias para lograr sacar adelante mi trabajo de grado y así culminar con mi carrera universitaria.

A los profesores Ing. Tirso Solís y el Ing. Cecilio Estribí, por sus observaciones y los conocimientos que he adquirido en la realización de este trabajo y durante toda mi carrera universitaria.

A la Ingeniera Victoria Hurtado, técnica del departamento de Recursos Hídricos del Ministerio de Ambiente de Panamá, quien dio su aporte para la realización de este trabajo, el cual podría ser útil para la institución.

Miguel Ángel Sáez Castillo

DEDICATORIA

A Dios, a mi Mamá (Iris del Carmes Castillo de Sáez) y a mi Papá (Benjamín Sáez Gonzáles), quienes han sido los pilares principales para la formación de mi éxito.

A mis hermanos (Edgar Barría, Milton Barría y Milagros Sáez) quienes, a pesar de la distancia, siempre estuvieron atentos y me aconsejaban a seguir luchando por mis sueños.

Ellos, quienes aprecio desde lo más profundo de mi corazón y que estaré para apoyarlos siempre que sea necesario, son a quienes dedico mi trabajo.

Miguel Ángel Sáez Castillo

ELABORACIÓN DE UNA PROPUESTA DE UN MANUAL TÉCNICO PARA EL CÁLCULO DE DOTACIÓN DE AGUA PARA USO AGRÍCOLA EN PANAMÁ

Sáez, M. 2018. Elaboración de una propuesta de un manual técnico para el cálculo de dotación de agua para uso agrícola en Panamá. Tesis Ing. en Manejo de Cuencas y Ambiente. Chiriquí. Panamá. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias. 56 p.

RESUMEN

En Panamá, el Ministerio de Ambiente es la institución encargada de otorgar los permisos y concesiones de agua cruda, superficial y subterránea, para diversos usos, entre los cuales se encuentra el uso agrícola. La alta demanda de agua que se ha percibido en los últimos años, ha obligado al Ministerio a tomar la decisión de actualizar las metodologías de cálculo de dotación de agua para todos los usos, ya que en el país no existe una norma oficial que lo reglamente.

En esta investigación se desarrolla una propuesta de un manual de procedimiento basado en criterios técnicos-científicos, para determinar el cálculo de dotación de agua para el uso agrícola en Panamá. El cual servirá de referencia para que el Ministerio de Ambiente aplique en la toma de decisiones sobre aprobar o rechazar las solicitudes de caudales de aguas tanto superficiales como subterráneas, destinadas para el riego.

Teniendo en cuenta que la Evapotranspiración Potencial es fundamental como primer paso para determinar la demanda de agua para riego, se describen los cálculos para determinar dicho valor, a través del método de Tanque Evaporímetro Clase "A"; además, se describen los métodos que se deben utilizar para aquellas regiones que no cuentan con evaporímetro tanque, Entre ellos: Jensen-Haise, Thornthwaite, García-López, Hargreaves, Penman y Blannet-Cridle.

Una vez se obtenga el dato de la Evapotranspiración Potencial, se explica el cálculo de la evapotranspiración del cultivo que se desea implementar, aplicando coeficientes de consumo que presenta la literatura para los cultivos de importancia del país.

Finalmente se describen el cálculo de la necesidad de riego neto mensual, el módulo de riego y el caudal a solicitar. Además se presentan las diferentes alternativas a tomar en cuenta, en caso de que el caudal solicitado resulte mayor al que aporte la fuente, de modo que éste disminuya para que el proyecto sea viable técnicamente.

Palabras claves: Evapotranspiración potencial, coeficiente de cultivo, eficiencia de riego, módulo de riego, caudal de riego, caudal de la fuente.

ELABORATION OF A PROPOSAL FOR A TECHNICAL HANDBOOK FOR THE CALCULATION OF WATER SUPPLY FOR AGRICULTURAL USE IN PANAMA.

Sáez, M. 2018. Elaboration of a proposal for a technical handbook for the calculation of water supply for agricultural use in Panama. Thesis Ing. Watershed management and environment. Chiriqui. Panama. University of Panama, Faculty of Agricultural Sciences. 56 p.

ABSTRACT

In Panama, the Ministry of Environment is the institution in charge of granting permits and concessions for raw, surface and underground water for various uses, among which is agricultural purpose. The high water demand that has been perceived in recent years, has forced the Ministry of environment to make the decision to update the methodologies for calculating water supplies for all uses, since in the country there is no official standard that I regulate it.

In this research, a proposal of a procedure handbook based on technical-scientific criteria is developed to determine the calculation of water supply for agricultural purpose in Panama. It will serve as a reference for the Ministry of Environment to apply in making decisions about approving or rejecting requests the superficial or underground water flows, destined for irrigation.

Taking into account that Potential Evapotranspiration is fundamental as a first step to determine the water demand for irrigation, this describes the calculations to determine this value through the Evaporimeter Tank Class "A" method; In addition, this describes the methods that should be used for those regions that do not have tank Evaporimeter, among them: Jensen-Haise, Thornthwaite, Garcia-Lopez, Hargreaves, Penman and Blannet-Criddle.

Once the data of Potential Evapotranspiration is obtained, the calculation of the evapotranspiration of the agricultural crops to be implemented is explained, applying consumption coefficients presented by the literature for important agricultural crops in the country.

Finally, the calculation of the monthly complete irrigation need is described, the irrigation module and the flow to be requested are described. In addition, the different alternatives to take into account are presented, in case the requested flow is greater than the source, so that it decreases so that the project is technically viable.

Key words: Potential evapotranspiration, crops coefficient, irrigation efficiency, irrigation module, irrigation flow, source flow.

ÍNDICE GENERAL

PÁGINA DE APROBACIÓN.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
RESUMEN.....	v
ABSTRACT.....	vi
ÍNDICE GENERAL.....	vii
ÍNDICE DE CUADROS.....	ix
INDICE DE FIGURAS.....	x
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Problema o tema de estudio.....	2
1.2 Antecedentes y justificación	4
1.3 Objetivos	7
1.4 Alcance del trabajo	7
1.5 Limitaciones	8
2 MARCO TEÓRICO.....	9
2.1 Necesidades de riego.....	9
2.2 Importancia y objetivo del riego	9
2.3 Etapas del desarrollo del riego	10
2.4 Estudio de viabilidad.....	11
2.4.1 Recursos: tierra, agua y clima.....	11
3 MARCO METODOLÓGICO	15
3.1 Materiales.....	15
3.2 Procedimiento.....	15
4 RESULTADOS	17
4.1 PRIMER PASO: Descripción general del proyecto.....	17
4.1.1 Descripción del sistema de riego	18
4.1.2 Descripción general del cultivo	21

4.2	SEGUNDO PASO: Obtención de datos climáticos.....	23
4.3	TERCER PASO: Realización del Balance Hídrico Climático.....	26
4.3.1	Obtención de la Evapotranspiración Potencial.....	26
4.3.2	Obtención de la precipitación segura.....	42
4.4	CUARTO PASO: Necesidades de riego de los cultivos	45
4.4.1	Evapotranspiración del cultivo	45
4.4.2	Requerimiento de agua (Req).....	45
4.4.3	Requerimiento volumétrico neto de agua (Req. Vol. Neto).....	46
4.4.4	Módulo de riego	46
4.4.5	Demanda real o caudal de riego	47
5	CONCLUSIONES.....	50
6	RECOMENDACIONES	52
7	BIBLIOGRAFÍA	54

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO	PÁG.
I. EFICIENCIA DE RIEGO POR SUPERFICIE	19
II. EFICIENCIA DE RIEGO POR ASPERSIÓN	20
III. COEFICIENTES DE CULTIVOS (K_c) PARA FINES DE DISEÑO.....	22
IV. ECUACIONES ALTOTÉRMICAS DE TEMPERATURA PROMEDIO PARA PANAMÁ.....	25
V. MÉTODOS DE EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL POR GUERRA (2016).....	28
VI. COEFICIENTES DEL TANQUE EVAPORÍMETRO (KP) PARA EL TANQUE CLASE A PARA DIVERSAS LOCALIZACIONES Y AMBIENTES DE LOS TANQUES Y VALORES DE VELOCIDAD MEDIA DE VIENTO Y DE HUMEDAD RELATIVA.....	31
VII. RADIACIÓN SOLAR EXTRATERRESTRE R_a . VALORES MENSUA- LES PROMEDIO.....	33
VIII. MÁXIMA DURACIÓN MEDIA DIARIA DE LA HORA DE SOL N PARA DIFERENTES MESES Y LATITUDES NORTE.....	34
IX. PENDIENTE EN UN PUNTO DE LA CURVA DE PRESIÓN DE SATURACIÓN DE VAPOR- TEMPERATURA (Δ/α) Y PRESIÓN DE SATURACIÓN DE VAPOR (E_s) EN (MM HG).....	37
X. ALBEDO O COEFICIENTE DE REFLEXIÓN DE DIVERSAS SUPERFICIES Y CUBIERTAS VEGETALES.....	38
XI. ÍNDICE CALÓRICO.....	40
XII. DURACIÓN MÁXIMA POSIBLE DE LUZ DEL SOL PARA DIFERENTES MESES Y LATITUDES.....	41

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	PÁG.
1. VALOR DE Z EXTRAPOLADO (CORRESPONDIENTE A LA PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA DEL 75%).....	44
2. DIAGRAMA DE FLUJO DE LOS PASOS GENERALES QUE CONLLEVA LA DOTACIÓN DE AGUA PARA RIEGO AGRÍCOLA.....	49

1 INTRODUCCIÓN

En todo el mundo, el empleo del agua y su gestión han sido un factor esencial para elevar la productividad de la agricultura y asegurar una producción previsible. El agua es esencial para aprovechar el potencial de la tierra y para permitir que las variedades mejoradas tanto de plantas como de animales utilicen plenamente los demás factores de producción que elevan los rendimientos. Al incrementar la productividad, la gestión sostenible del agua (especialmente si va unida a una gestión adecuada del suelo) contribuye a asegurar una producción mejor tanto para el consumo directo como para el comercio, favoreciendo así la producción de los excedentes económicos necesarios para elevar las economías rurales.

La necesidad de mejorar la eficiencia en el uso del agua requiere evaluar diversos sistemas con la finalidad de poder proveer recomendaciones sobre distintas prácticas de riego al productor y generar una cultura que permita optimizar el uso del agua.

En Panamá, el Ministerio de Ambiente es la institución encargada de otorgar los permisos y concesiones de agua cruda, superficial y subterránea, para diversos usos, entre los cuales se encuentra el uso agrícola.

La alta demanda de agua que se ha percibido en los últimos años, ha obligado al Ministerio a tomar la decisión de actualizar las metodologías de cálculo de dotación de agua para todos los usos (domestico, agrícola, pecuario, industrial,

turístico, recreativo, hidroeléctrico, etc.) y esta investigación servirá de referencia para el uso que nos ocupa, que es el sector agropecuario enfocado específicamente el Agrícola.

En contexto general esta investigación consiste en la elaboración de una propuesta de un manual de procedimiento del cálculo de dotación de agua para el uso en el sector agrícola en Panamá, con la finalidad de contar con criterios técnicos predefinido para determinar las necesidades de agua en las diferentes actividades agrícolas que dependen del riego y que requieren de una concesión/permiso (temporal o permanente), para el uso de la misma; la cual es emitida por el Departamento de Cuencas Hidrográficas del Ministerio de Ambiente.

1.1 Problema o tema de estudio

En la actualidad, la humanidad enfrenta serios problemas en varios ámbitos. Uno de ellos y de enorme importancia es el deterioro de los recursos naturales. En los últimos 50 años se ha observado el acelerado proceso de sobreexplotación de la mayoría de ellos, sobre todo de uno de los recursos más importantes: el agua.

Según FAO (2016), la extracción hídrica total nacional para el año 2010 alcanzó 1037 millones de m³, de los cuales 446 millones de m³ (43%) pertenecen al sector agrícola, 10 millones de m³ pertenecen al sector industrial y el resto (581 millones de m³) pertenece al sector municipal. Lo que nos muestra que de los usos

consuntivos que se le da al agua en el país, el sector agrícola es el que mayor consume en comparación al uso industrial.

El mismo autor destaca que en el 2009 el área equipada para el riego se estimó en 32 140 has, de las cuales 23 900 has (74%) correspondían a riego por superficie, 3 740 has (12%) a riego por aspersión y 4 500 has (14%) a riego localizado. También señala que la superficie total cosechada de cultivo con infraestructuras de riego asciende a 44 678 ha en el año 2009, de las cuales los que ocupan un área mayor son el arroz con 21 243 ha (48%) y la caña de azúcar con 13 799 ha (31%).

Actualmente en Panamá no existe un procedimiento oficial del cálculo de la demanda de agua para los cultivos agrícolas en las regiones de mayor importancia. En el Ministerio de Ambiente existen casos que se calcula la dotación de agua con el criterio de un litro por segundo por hectárea (1 l/s/ha), para brindar concesiones y permisos de agua destinada para riego, pero este criterio no se encuentra plasmado en un documento técnico-científico que permita justificar con mayor ponderación la asignación del caudal; conociendo que la demanda de agua para riego dependerá de las variables climáticas, el cultivo que se trata y del método de riego.

Por lo tanto, este manual es un aporte a la creación de conciencia sobre la “Cultura del Agua” para así desarrollar actitudes positivas dentro de la población, que sean aplicables en la República de Panamá y que redundan en el uso provechoso y eficiente del agua en la agricultura.

1.2 Antecedentes y justificación

El 30 de septiembre de 2015, el Departamento de Recursos Hídricos del Ministerio de Ambiente (MiAmbiente) realizó la primera reunión de acercamiento en la sede del ministerio con técnicos de la Dirección de Ingeniería Rural y Riego del Ministerio de Desarrollo Agropecuario (MIDA), donde se determinaron las necesidades que se tienen al momento de evaluar las solicitudes de concesiones de agua especialmente para uso agrícola y por lo tanto se requiere consensuar una metodología para la elaboración de un manual técnico con el procedimiento a seguir.

El tres y cuatro de diciembre de 2015, se realizó la primera sesión de trabajo en donde se contó con la participación de MIDA, ETESA, IDIAP y MIAMBIENTE, en la cual se realizaron presentaciones respecto al tema y cada institución dio su aporte técnico. En esta sesión se concluyó que debían realizarse otras sesiones de trabajo y que cada institución debía aportar información requerida según su competencia.

El siete y ocho de abril 2016, se desarrolló la segunda sesión de trabajo, en donde cada participante realizó aportes referentes a cálculos relacionados al tema, el profesor Noé Aguilar de la Universidad de Panamá, proporcionó diversos documentos de referencia y explicó sobre los métodos de cálculo de la evapotranspiración y el procedimiento para estimar las dotaciones de agua por cultivo. En esta sesión se concluyó que se requiere homologar la metodología

para la estimación, por región, de las necesidades de agua de los rubros con más demanda en el país.

En Junio 2016, el Ministerio de Ambiente (MiAmbiente) realizó un taller, en donde el objetivo del mismo era capacitar a veinte funcionarios en las metodologías de cálculo de las necesidades de agua en cultivos como la Caña de azúcar (Coclé), Cucurbitáceas (Herrera), Arroz (Los Santos), Palma aceitera y papa (Chiriquí) para solicitudes de concesión de uso de agua temporal y permanente. En dicho evento, La Universidad de Panamá tuvo participación a través de sus profesionales en las Ciencias Agropecuarias, quienes fueron expositores a solicitud de MiAmbiente.

En 2016, se realizó una investigación (Tesis) sobre la evaluación de diferentes métodos para el cálculo de la Evapotranspiración Potencial, como Índice de Demanda de Agua de los Principales Cultivos del Pacífico Central y Occidental de Panamá, por Fátima Guerra.

Actualmente Costa Rica, tiene reglamentado un Manual Técnico del Departamento de Aguas, del Instituto Meteorológico Nacional, el cual cuenta con criterios técnicos predefinido para la determinación de las necesidades o requerimientos de agua en las diferentes actividades y proyectos que dependen de este preciado líquido, y que requieren de una concesión de uso de la misma; la cual es tramitada y recomendada por el Departamento de Aguas para su resolución por parte del Ministro del Ambiente y Energía (IMN 2004).

México, a través de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), cuenta con un manual sobre Estimación de las Demandas de Consumo de Agua (SAGARPA s.f.).

Debido a que no existe un procedimiento de cálculo de la demanda de agua para los cultivos de importancia que requieren grandes volúmenes de agua y con incremento en la superficie regada año tras año en las regiones de explotación agropecuaria en Panamá, es necesario elaborar un manual con especificaciones técnicas, en donde se describan los pasos adecuado de cálculo de módulos de riego para los cultivos de mayor explotación en el país. De esta forma se regulará y se controlará la gestión del recurso hídrico, ya que es uno de los recursos que ha sufrido mayor deterioro a causa de la sobre-explotación generada por el hombre y a esto se le añaden las variabilidades climáticas que han ocurrido en los últimos años, presentando un aumento en las anomalías de temperatura ambiente, cambios en la intensidad/dirección de los vientos, las anomalías de precipitación y déficit en los caudales de fuentes naturales; que a su vez originan alteraciones importantes en la flora y la fauna; no solo en Panamá sino en varios países del mundo.

Con esta propuesta también se pretende evitar conflictos entre usos y usuarios por competencias por el agua en periodos de escasez.

1.3 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Elaborar una propuesta de un manual técnico de cálculo de dotación de agua para uso agrícola en Panamá.

1.2.2 Objetivos específicos

- Definir un procedimiento de cálculo de demanda de agua para uso agrícola en el país.
- Proponer a las autoridades competentes la reglamentación de este manual técnico para su implementación en el proceso de otorgar concesión de uso de agua destinada para riego.

1.4 Alcance del trabajo

Con la elaboración de este manual técnico se pretende oficializar un procedimiento que sirva como propuesta para que, las autoridades con competencia en la adecuada administración de los recursos hídricos de Panamá (MiAmbiente), se puedan regir al momento de evaluar los tramites de concesiones y permisos de aguas para uso agrícola. De igual forma este manual funcionará para que el personal idóneo encargado de hacer los cálculos de la dotación de

agua, tenga una guía y así evitar errores que limiten la asignación del caudal por parte de la institución competente.

Este trabajo no implica los procedimientos de campo para verificar la captación y uso de la cantidad de agua otorgada en concesión, lo que debe ser motivo de otro procedimiento, es decir otro tipo de reglamentación.

1.5 Limitaciones

Los procedimientos de cálculo que se desarrollaran en esta investigación sólo se harán para la dotación de agua en el sector agrícola del país, por lo cual, no puede ser utilizado para el cálculo en otros usos; ya sea turístico, recreativo o industrial.

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Necesidades de riego

Según Withers y Vipond 1978, El riego es necesario en un clima seco; pero es preciso definir lo que se entiende por clima seco. Se considera seco un clima en el que las lluvias naturales no son suficientes para satisfacer las necesidades de agua de las plantas, durante todo el año o parte de él. Hay muchas zonas desiertas en el mundo, donde la tierra es potencialmente fértil pero casi no llueve. Por supuesto, el riego es indispensable para la agricultura en esos lugares; pero hay otros climas en los que el riego no es esencial, aunque puede servir para otros fines útiles. Hay regiones con estaciones secas en las que el riego hace que se extienda el periodo de crecimiento, incrementando la gama de los cultivos posibles o mejorando los rendimientos de los ya existentes; y otras con lluvias inciertas en las que el riego sirve como garantía de que no se perderán cosechas.

2.2 Importancia y objetivo del riego

La importancia del riego está condicionada a la demanda y necesidad del mismo, en función a las limitaciones climáticas de la zona, será determinante en toda aquella región, donde el agua aportada por las lluvias no sea capaz de restituir la consumida por el cultivo. De todo lo indicado se deduce que el principal objetivo del riego será: proporcionar al cultivo la humedad necesaria para su desarrollo y

producción. De este criterio se derivan otros tantos propósitos como, por ejemplo, resolver el problema que producen las cortas sequías en épocas lluviosas, poner el suelo en condiciones para producir, debido a que se mejoran las condiciones ambientales para el desarrollo vegetal (Leiton 1985).

2.3 Etapas del desarrollo del riego

La agricultura de riego se diferencia radicalmente de la agricultura de secano y se practica en forma intensiva, necesitando una organización de trabajo sistemática e industrializada. Constantemente deben ser satisfechos los programas, y las situaciones de emergencia también tienen que resolverse. Al fallarse en estos aspectos se puede originar un desastre financiero, principalmente debido al gran costo inicial, y a lo que es todavía peor, al alto costo de operación de la agricultura de riego.

En consecuencia, el desarrollo de una región debe estar de acuerdo con la capacidad para su eficiente explotación. Un desarrollo demasiado ambicioso y la consecuente explotación agrícola de regiones en donde especialmente los agricultores tienen poca experiencia con la agricultura de riego, inevitablemente meterá al productor en problemas que no será capaz de resolver a tiempo y que lo pueden arruinar. El agricultor junto con los técnicos en extensión, tienen que determinar: 1) la integración entre la producción de cosecha y la producción pecuaria, 2) las necesidades que tenga el suelo en nutrientes, 3) las variedades de cultivos que más se adapten de la especie de planta más conveniente, 4) el

método apropiado de cultivo por adoptar, 5) la mejor rotación de cultivo por introducir, 6) cómo hacer el mejor combate de plagas y enfermedades locales que cambian continuamente, 7) forma y procedimiento para obtener financiamientos a corto y largo plazo (Zimmerman 1979).

2.4 Estudio de viabilidad

2.4.1 Recursos: tierra, agua y clima

Hay cuatro características básicas de las tierras apropiadas para la agricultura de regadío:

- a) Terrenos que puedan regarse.
- b) Suelos potencialmente fértiles.
- c) Un clima en el que pueda medrar los cultivos.
- d) Una fuente segura de agua de calidad constante.

2.4.1.1 Investigaciones de suelo

La finalidad de una investigación de suelo es definir los tipos de suelos, las características de drenaje y el potencial agrícola de la tierra situada en la zona del proyecto. Los tipos de suelo se clasifican de acuerdo con características físicas y químicas, tales como el tamaño de las partículas y el valor de pH. Las

características de drenaje se determinan a partir de la estructura de suelo, la permeabilidad y la disposición vertical y horizontal de los diversos tipos de suelos. El potencial agrícola es una función del tipo de suelo y las características de drenaje, con limitantes impuestas por la salinidad, la profundidad del suelo y la topografía (Withers y Vipond 1978).

2.4.1.2 Recursos Hidráulicos

Se efectúa una investigación hidrológica para evaluar los recursos hidráulicos para evaluar los recursos hidráulicos disponibles para el proyecto propuesto. Para ello se requieren registros a largo plazo de corrientes fluviales y calidad de las aguas. En muchos casos, esos registros no existen y los datos históricos tienen que estimarse a partir de informaciones relacionadas, tales como los registros de precipitaciones pluviales para la captación o registros de corrientes de ríos cercanos. Si los datos disponibles no son adecuados, se establecen inmediatamente puestos meteorológicos y medidores de corriente, bajo el principio de que los registros a corto plazo son mejores que el no tener ninguno (Withers y Vipond 1978).

En lo que se refiere a las existencias freáticas, el rendimiento a corto plazo se evalúa perforando y probando los pozos, el rendimiento a largo plazo se estima mediante un estudio detallado de los mantos acuosos, incluyendo su geología, las características del flujo entre ellos y el clima de su zona de captación (Withers y Vipond 1978).

El agua es un artículo valioso en nuestro mundo superpoblado y cualquier propósito de utilización de grandes cantidades de agua tendrá que competir seguramente con otras demandas rivales, tales como el suministro de agua a alguna ciudad, los proyectos hidroeléctricos y los usos industriales. Con frecuencia, esas dificultades aumentan debido a la existencia de zonas de captación y mantos acuosos que atraviesan fronteras internacionales. Es preciso tomar en consideración todos estos problemas, al evaluar las existencias de aguas disponibles con fines de riego (Withers y Vipond 1978).

2.4.1.3 Investigaciones topográficas

Las investigaciones topográficas siguen normalmente a las de suelos (edafológicas) y, por ende, se limitan principalmente a la zonas delimitadas de los terrenos que vayan a regarse. Cuando es necesario, se incluyen otras zonas adicionales para ubicar canales, los edificios, las carreteras y estructuras hidráulicas (Withers y Vipond 1978).

2.4.1.4 Investigaciones climatológicas relacionadas con el uso de agua en los cultivos

En muchos países el servicio meteorológico local puede proporcionar datos climáticos a largo plazo. De manera ideal, esto incluye mediciones diarias o, incluso continuas, de las precipitaciones pluviales, las temperaturas, la humedad,

las horas de sol y la evaporación; pero se ha desarrollado métodos en los que se utilizan informaciones limitadas (Withers y Vipond 1978).

Las necesidades de agua para los cultivos suelen plantear un problema. Se puede estimar a partir de los datos climatológicos, a condición de que se disponga de registros adecuados y que se haya estudiado el comportamiento de cultivo en la zona dada.

3 MARCO METODOLÓGICO

3.1 Materiales

Para la realización del trabajo se requirió de una computadora con software Word, utensilios de oficinas y acceso a internet.

3.2 Procedimiento

Primeramente se realizó una evaluación técnica de la viabilidad del tema, realizando consultas con el personal técnico del Ministerio de Ambiente acerca de la necesidad y la importancia que tiene para ellos actualizar el procedimiento para calcular la dotación de agua para riego.

Se realizó una búsqueda de investigaciones previas relacionadas al tema como es el caso de los resultados obtenidos en la investigación de (Guerra 2016), sobre la “evaluación de diferentes métodos para calcular la evapotranspiración potencial como índice de demanda de agua de los principales cultivos del pacífico central y occidental de Panamá”

También se reunió información existente, acerca de los reglamentos aplicados en países como Costa Rica y México; quienes tienen una cultura de agua muy avanzada en comparación a nuestro país. Y que a su vez, sirvieron de base para dar una estructura al modelo que se presenta en esta propuesta.

Finalmente se realizó la primera evaluación por parte de las autoridades del Ministerio de Ambiente (MiAmbiente), en donde se discutieron los puntos que se consideraban más sobresalientes y a los que había que prestarle mayor importancia.

4 RESULTADOS

4.1 PRIMER PASO: Descripción general del proyecto

- Ubicación del proyecto: Provincia, distrito, corregimiento, comunidad.
- Cultivo a implementar o grupo de cultivos.
- Superficie a regar y superficie regable (hectáreas).
- Elevación del sitio (metros sobre el nivel del mar), por un método apropiado.
- Nombre de la fuente de agua, Nombre y número de la cuenca a la cual pertenece. Presentar registro de caudal de la fuente, si no existe registro se debe calcular el caudal por el método que se adecúe y realizar aforos en épocas secas.
- En caso de pozos describir el número de pozos (Presentar aforo).
- Mapa de ubicación del terreno y coordenadas UTM del punto de toma y descarga de agua.
- Descripción de la situación actual del terreno: condición del micro-relieve de la parcela, pendiente del terreno, profundidad de suelo, textura (por estratos) y vegetación. Describir si se contempla adecuación (nivelación, emparejamiento) para mejorar la eficiencia del riego.

4.1.1 Descripción del sistema de riego

- Características del sistema de aprovechamiento de agua:
 - Captación (si es por gravedad o bombeo).
 - Conducción: si es por canales, describir las características de los mismos.
 - Distribución y aplicación (en caso de riego por gravedad).
- Características de la bomba: Potencia, caudal, altura de descarga.
- Diámetro de las tuberías a utilizar.
- Descarga de los aspersores (en caso de riego por aspersión).
- Descarga de los goteros (en caso de riego por goteo).
- Horarios de riego diario (horas total de riego diario).
- Eficiencia de riego: Según IMTA (2013), en el caso de riego por goteo se debe utilizar una eficiencia de riego de 90%.

Para determinar la eficiencia en el riego por superficie, se debe verificar el CUADRO I; y en el caso de riego por aspersión, se debe verificar el CUADRO II (Aguilar s.f.).

CUADRO I. EFICIENCIA DE RIEGO POR SUPERFICIE.

Textura del suelo y topografía	Sistema de riego			
	Melgas	Surcos	Melgas en contorno	Tazas (Tinas)
1) Arenoso				
a) Bien nivelado	60%	40-50%	45%	70%
b) Nivelación insuficiente	40-50%	35%	30%	-
c) Quebrados o pendiente	-	20-30%	20%	-
2) Medio (Profundo)				
a) Bien nivelado	70-75%	65%	55-70%	-
b) Nivelación insuficiente	50-60%	55%	45%	-
c) Quebrados o pendiente	-	35%	35%	-
3) Medio (poco profundo)				
a) Bien nivelado	60%	50%	45%	60%
b) Nivelación insuficiente	40-50%	35%	35%	-
c) Quebrados o pendiente	-	30%	30%	-
4) Pesado				
a) Bien nivelado	60%	65%	50%	60%
b) Nivelación insuficiente	40-50%	55%	45%	-
c) Quebrados o pendiente	-	35-45%	30%	-

Fuente: (AMES, Citado por Díaz 2006).

CUADRO II. EFICIENCIA DE RIEGO POR ASPERSIÓN.

Lámina de agua aplicada (mm)	Evapotranspiración máxima en (mm/día)		
	< a 5 mm	5 – 7.5 mm	> a 7.5 mm
25 50 100 150 25 50 100 150 25 50 100 150	Velocidad de vientos promedio < 6.4 km/h		
	68%	65%	62%
	70%	68%	65%
	75%	70%	68%
	80%	75%	70%
	Velocidad de vientos promedio 6.4-16 km/h		
	65%	62%	60%
	68%	65%	62%
	70%	68%	65%
	75%	70%	68%
	Velocidad de vientos promedio 16-24 km/h		
	62%	60%	58%
	65%	62%	60%
	78%	65%	62%
	70%	68%	65%

Fuente: (AMES, Citado por Díaz 2006).

4.1.2 Descripción general del cultivo

- Generalidades del cultivo.
 - Periodo vegetativo.
 - Labores culturales
- Periodos de siembra y cosecha.
- Fecha de resiembra (si lo requiere)
- Cronograma de actividades de las labores culturales.
- Coeficiente de cultivo (K_c), ver CUADRO III.

OBSERVACIÓN: los coeficientes de cultivo (K_c) que se citan en el CUADRO III de esta investigación, están divididos para tres etapas de desarrollo de los cultivos, sin embargo en la literatura existen tablas con valores de K_c , de hasta cuatro etapas de desarrollo del cultivo. Está a consideración del Ministerio de ambiente tomar en cuenta esos valores (para que sean aplicados en el cálculo), siempre y cuando se apliquen a países de la región tropical.

CUADRO III. COEFICIENTES DE CULTIVOS (K_c) PARA FINES DE DISEÑO.

Grupo de cultivos	K _c ini		K _c med		K _c fin
Hortalizas pequeñas (crucíferas, apio, lechuga, zanahoria, espinaca, cebolla, rábano, etc.)	0.70		1.05		0.95
Solanáceas (tomate, chile, pimiento, berenjena)	0.60		1.15		0.80
Cucurbitáceas (pepino, ayote, zapallo, pipián, melón, sandía)	0.50		1.00		0.80
Raíces y tubérculos (remolacha, yuca, papa, camote)	0.50		1.10		0.95
Leguminosas (frijol, habichuela, cacahuate, haba, arveja, soya)	0.40		1.15		0.55
Hortalizas perennes (alcachofa, espárrago, fresa)	0.50		1.00		0.80
Cultivos oleaginosos (ricino, colza, cártamo, ajonjolí, girasol)	0.35		1.15		0.35
Cereales (maíz, trigo, sorgo, arroz)	0.30		1.15		0.40
Pastos:	H*	S*	H	S	
- Alfalfa	0.50	0.40	0.85	0.95	
-Leguminosas	0.55	0.55	1.00	1.05	
- Pasto para heno	0.60	0.55	0.80	0.90	
- Pasto bajo pastoreo	0.55	0.50	0.95	1.00	
Caña de azúcar	0.40		1.25		0.75
Banano	0.50		1.10		1.00
Piña	0.50		0.30		0.30
Cítricos			H 0.65	S 0.75	
Frutales de hoja caduca			H 0.60	S 0.70	
Aguacate			H 0.50	S 0.55	
(*) H= clima húmedo; S= clima seco					

Fuente: (Allen et al., citado por Carrazón 2007).

4.2 SEGUNDO PASO: Obtención de datos climáticos

Los datos climáticos para el estudio de concesiones de agua son necesarios para conocer el comportamiento del clima de diferentes áreas de producción en distintas épocas del año.

La Empresa de Transmisión Eléctrica S.A. (ETESA), por ser la Institución que por ley realiza las actividades propias del Servicio de Meteorología e Hidrología Nacional y la cual cuenta con el mayor número de personas calificadas dedicadas al cuidado, administración y explotación de esta red (UNESCO 2008), tiene a disposición de sus usuarios el sistema de Data Abierta (Open Data) para la adquisición de los datos de estaciones de observación meteorológicas e hidrológicas operativas, distribuidas por todo el país; pero este sistema presenta una limitante, que muchas estaciones meteorológicas han dejado de funcionar hace muchos años y no se cuenta con registros actualizados en todas las regiones de interés.

Sin embargo, en la actualidad existen muchas fincas y entidades públicas y privadas que cuentan con estaciones particulares con ciertos años de registros que pueden ser consideradas y útil para la realización de los cálculos.

Para iniciar el procedimiento, se debe hacer uso de la red de estaciones climáticas ubicadas dentro de la cuenca, no obstante en el caso de no existir esta condición, se recomienda usar datos de las estaciones cercanas al área de estudio o aquellas que tengan representatividad, justificando este procedimiento de manera explícita y soportada dentro del documento la descripción climática del sitio, referida a las

principales variables meteorológicas (precipitación, temperatura, evaporación, evapotranspiración potencial entre otras). A continuación se describe como se deben seleccionar los datos y el análisis de los mismos:

Se debe tener valores mínimos de registros de los elementos climáticos: para lluvia los últimos 20 años; evaporación de 5 a 10 años, temperatura 10 años, humedad relativa 3 años, velocidad del viento y brillo solar 5 años de registro en zonas del trópico. Las estaciones que tengan evaporímetro tanque los datos de evaporación se pueden utilizar en un radio de 25 kilómetros en áreas planas y en montañosas de 10 a 15 kilómetros.

Para aquellos lugares que carecen de información de las variables climáticas requeridas y no cuentan con una estación cercana, podrán determinar los datos de temperatura a través de las ecuaciones altotérmicas desarrolladas para Panamá, VER CUADRO IV, conociendo la elevación del sitio (en msnm) a través de un GPS. Una vez determinada la temperatura se podrá determinar el valor de la evapotranspiración potencial (ETP) aplicando el método de Thornthwaite. En caso de que exista información climática cercana y la única variable faltante es la de temperatura, también se pueden utilizar estas ecuaciones altotérmicas para aplicar otros métodos de ETP.

CUADRO IV. ECUACIONES ALTOTÉRMICAS DE TEMPERATURA PROMEDIO.

Meses	Ecuaciones altotérmicas para el Pacífico de la República de Panamá.	r
Enero	$T = 26.9025 - 0.0056(h)$	0.97
Febrero	$T = 27.4767 - 0.0059(h)$	0.96
Marzo	$T = 27.9808 - 0.0058(h)$	0.96
Abril	$T = 28.2513 - 0.00589(h)$	0.96
Mayo	$T = 27.7086 - 0.0055(h)$	0.97
Junio	$T = 27.2784 - 0.0056(h)$	0.98
Julio	$T = 27.1162 - 0.0056(h)$	0.94
Agosto	$T = 27.1092 - 0.0056(h)$	0.94
Septiembre	$T = 26.9033 - 0.0055(h)$	0.92
Octubre	$T = 26.7040 - 0.0055(h)$	0.92
Noviembre	$T = 26.7109 - 0.0055(h)$	0.94
Diciembre	$T = 26.7829 - 0.0057(h)$	0.96
(*) h: es la elevación del sitio (msnm).		

Fuente: Atlas Nacional de Panamá (2016).

4.3 TERCER PASO: Realización del Balance Hídrico Climático

Se debe realizar el balance hídrico mensual obteniendo los periodos y cuantías de los excesos y deficiencia de agua para justificar cuáles son los meses en los que realmente se requiere el agua para el riego.

Para la realización del balance hídrico climático, es necesario determinar la evapotranspiración potencial según las indicaciones descritas en el punto 4.3.1 y la precipitación segura descrita en el punto 4.3.2. Luego se debe representar en un gráfico la ETp y la precipitación segura en el eje de las ordenadas y los meses en el eje de las abscisas.

4.3.1 Obtención de la Evapotranspiración Potencial.

La evaporación de una unidad de plantas y suelo, comprende la evaporación de la superficie del suelo y la transpiración de la planta a través de las hojas. Si el cultivo cubre por completo la superficie del terreno, la evaporación tiene lugar totalmente a partir de las plantas y si las raíces pueden absorber agua a un ritmo suficientemente elevado, la transferencia de vapor estará controlada solo por el clima. Este índice de humedad se denomina índice de evaporación potencial y es una función de la energía disponible para vaporizar el agua, junto con el índice de dispersión del vapor de la superficie de las hojas (Withers y Vipond 1978).

Existen varios métodos para el análisis de los valores climáticos para obtener el dato de la Evapotranspiración Potencial (ETp) o Evapotranspiración de referencia

(ET_o); Se puede realizar a través del método del Evaporímetro Tanque de Clase “A”, desarrollado por FAO (2006), en aquellas regiones que cuenten con estación climática con registros de evaporación del tanque.

En casos que las estaciones no cuenten con información del evaporímetro tanque se debe realizar el cálculo de evapotranspiración potencial con los métodos propuestos según el estudio de (Guerra 2016), los cuales se resumen en el CUADRO V.

CUADRO V. MÉTODOS DE EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL PROPUESTOS POR (GUERRA 2016).

Región Pacífica	Método	Fórmula
Chiriquí	Penman	$ETP = \frac{\frac{\Delta}{\alpha} Rn + Ea}{\frac{\Delta}{\alpha} + 1}$
	Hargreaves	$ETP = 0.0075 R_s T^\circ$
	Thornthwaite	$ETP = 16 \frac{(10T^\circ)^a}{I}$
	García-López	$ETP = (1.21 \times 10^{(7.45 T^\circ)/(234.5 + T^\circ)}) (1 - HR) + 0.21T^\circ - 2.30$
	Jensen-Haise	$ETP = (0.078 + 0.0252 T^\circ) R_s/L$
Veraguas	Penman	$ETP = \frac{\frac{\Delta}{\alpha} Rn + Ea}{\frac{\Delta}{\alpha} + 1}$
	Hargreaves	$ETP = 0.0075 R_s T^\circ$
	Thornthwaite	$ETP = 16 \frac{(10T^\circ)^a}{I}$
	García-López	$ETP = (1.21 \times 10^{(7.45 T^\circ)/(234.5 + T^\circ)}) (1 - HR) + 0.21T^\circ - 2.30$
	Jensen-Haise	$ETP = (0.078 + 0.0252 T^\circ) R_s/L$
Herrera	Penman	$ETP = \frac{\frac{\Delta}{\alpha} Rn + Ea}{\frac{\Delta}{\alpha} + 1}$
	Hargreaves	$ETP = 0.0075 R_s T^\circ$
	Thornthwaite	$ETP = 16 \frac{(10T^\circ)^a}{I}$
	García-López	$ETP = (1.21 \times 10^{(7.45 T^\circ)/(234.5 + T^\circ)}) (1 - HR) + 0.21T^\circ - 2.30$
Los Santos	Hargreaves	$ETP = 0.0075 R_s T^\circ$
Coclé	Penman	$ETP = \frac{\frac{\Delta}{\alpha} Rn + Ea}{\frac{\Delta}{\alpha} + 1}$
	Hargreaves	$ETP = 0.0075 R_s T^\circ$
	Thornthwaite	$ETP = 16 \frac{(10T^\circ)^a}{I}$
	García-López	$ETP = (1.21 \times 10^{(7.45 T^\circ)/(234.5 + T^\circ)}) (1 - HR) + 0.21T^\circ - 2.30$

Fuente: Guerra 2016.

A continuación se describirán los métodos y la forma en la que se debe realizar los cálculos para determinar la Evapotranspiración Potencial:

a. MÉTODO DEL TANQUE EVAPORÍMETRO CLASE “A”

El tanque Evaporímetro Clase “A” permite estimar los efectos integrados del clima (la radiación, la temperatura, el viento y la humedad relativa del aire), en función de la evaporación de una superficie de agua libre de dimensiones estándar. La ETp se estima de acuerdo a la siguiente fórmula de la FAO.

$$ETp = Evp * Kp$$

Donde:

ETp= Evapotranspiración el Cultivo de referencia (mm/día)

Evp= Evaporación media diaria del Tanque Evaporímetro Clase “A” (mm/día)

Kp = Coeficiente del Tanque Evaporímetro Clase “A”, que depende de la humedad relativa mínima, de la velocidad promedio del viento en 24 horas y del tipo de cobertura que se encuentra alrededor del tanque.

Según Guerra (2016), el método apropiado para calcular el coeficiente mensual, es el formulado por Snyder (1992) indica que:

$$Kp = 0.108 - 0.000331 U_2 + 0.0422 \ln(\text{entorno}) + 0.1434 \ln(\text{HR prom}) - 0.000631$$

$(\ln \text{ entorno})^2 * \ln(\text{HR prom})$, **Donde:**

Kp = coeficiente del tanque

Entorno = distancia desde el Tanque evaporímetro hasta el área cubierta verde a barlovento (m)

HR media= humedad relativa media mensual (%) ***HRprom*** = $\frac{HR_{max}-HR_{min}}{2}$

U2 = velocidad media mensual del viento (ms-1 o (km/día) a dos metros de altura.

También existe otro procedimiento para determinar el coeficiente de tanque (Kp), a partir del CUADRO VI, con base a la distancia de la zona de borde del cultivo, la velocidad del viento y la humedad relativa.

CUADRO VI. COEFICIENTES DEL TANQUE EVAPORÍMETRO (KP) PARA EL TANQUE CLASE A PARA DIVERSAS LOCALIZACIONES Y AMBIENTES DE LOS TANQUES Y VALORES DE VELOCIDAD MEDIA DE VIENTO Y DE HUMEDAD RELATIVA.

Tanque tipo A	Caso A: Tanque situado en una superficie cultivada				Caso B: Tanque situado en un suelo desnudo			
Hum. Relat.	Media (%)	baja < 40	media 40 -70	alta > 70		baja < 40	media 40 -70	alta > 70
Velocidad del viento (m s-1)	Distancia del cultivo a barlovento (m)				Distancia del barbecho a barlovento (m)			
Baja <2	1	0.55	0.65	0.75	1	0.70	0.80	0.85
	10	0.70	0.75	0.85	10	0.60	0.70	0.80
	100	0.70	0.80	0.85	100	0.55	0.65	0.75
	1000	0.75	0.85	0.85	1000	0.50	0.60	0.70
Moderada 2 a 5	1	0.50	0.60	0.65	1	0.65	0.75	0.80
	10	0.60	0.70	0.75	10	0.55	0.65	0.70
	100	0.65	0.75	0.80	100	0.50	0.60	0.65
	1000	0.70	0.80	0.80	1000	0.45	0.55	0.60
Alta 5 a 8	1	0.45	0.50	0.60	1	0.60	0.65	0.70
	10	0.55	0.60	0.65	10	0.50	0.55	0.65
	100	0.60	0.65	0.70	100	0.45	0.45	0.60
	1000	0.65	0.70	0.75	1000	0.40	0.45	0.55
Muy alta >8	1	0.40	0.45	0.50	1	0.50	0.60	0.65
	10	0.45	0.55	0.60	10	0.45	0.50	0.55
	100	0.50	0.60	0.65	100	0.40	0.45	0.50
	1000	0.55	0.60	0.65	1000	0.35	0.40	0.45

Fuente: Snyder 1992.

b. MÉTODO DE HARGREAVES

Según Hargreaves, citado por Guerra (2016), Propone a la temperatura, humedad relativa media diaria, velocidad del viento, insolación y la altitud como factores para la determinación de la ETp.

$$ETp = 0.0075 R_s / 58 T^\circ$$

Donde:

ETP = evapotranspiración potencial en (mm/día).

T° = promedio diario de temperatura en grados Fahrenheit. $^\circ F = 9/5 T_{media}^\circ C + 32$

Rs = radiación solar incidente expresada en evaporación equivalente. **Rs** = $R_a (a + b n / N)$

Donde:

Ra = radiación solar extraterrestre equivalente en (cal/cm²/día), Ra se obtiene del CUADRO VII.

a, b = constantes que dependen de la latitud. Varían muy poco. a= 0.255, b= 0.472

n = duración, en horas, del brillo solar medido en la estación meteorológica.

N = duración máxima posible del brillo solar que teóricamente deben presentarse en el lugar y depende de la latitud y el mes del año según el CUADRO VIII.

CUADRO VII. RADIACIÓN SOLAR EXTRATERRESTRE. R_a VALORES MENSUALES PROMEDIOS EXPRESADOS EN (cal/cm²/día).

Latitud Norte	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
15	719	790	870	922	937	936	937	932	897	823	741	696
14	731	800	875	922	933	929	931	930	900	831	752	709
13	743	809	880	922	928	923	926	928	902	839	763	722
12	755	818	885	921	923	916	920	925	905	846	774	735
11	767	827	889	921	918	909	913	922	907	853	785	747
10	778	835	893	919	913	902	907	919	909	860	796	759
9	789	844	897	918	907	894	900	916	911	867	807	772
8	801	852	901	916	902	887	893	913	912	874	817	783
7	811	860	904	914	896	879	886	909	913	880	827	795
6	822	867	907	912	889	871	879	905	914	886	837	807
5	833	875	910	910	883	862	871	900	914	891	846	818
4	843	882	912	907	876	854	863	896	915	897	856	829
3	853	889	914	904	869	845	855	891	915	902	865	840
2	863	896	916	901	862	836	847	886	914	907	874	851
1	872	902	918	897	854	827	839	880	914	912	883	861
0	882	908	919	893	847	817	830	875	913	916	891	871

**CUADRO VIII. MÁXIMA DURACIÓN MEDIA DIARIA DE LAS HORAS DE SOL
“N” PARA DIFERENTES MESES Y LATITUDES NORTE.**

Latitud Norte	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
15°	11.3	11.6	12.0	12.5	12.8	13.0	12.9	12.6	12.2	11.8	11.4	11.2
10°	11.6	11.8	12.0	12.3	12.6	12.7	12.6	12.4	12.1	11.8	11.6	11.5
5°	11.8	11.9	12.0	12.2	12.3	12.4	12.3	12.3	12.1	12.0	11.9	11.8
0°	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1

c. MÉTODO DE PENMAN

$$ET = \frac{\Delta/\alpha + Rn + Ea}{\Delta/\alpha + 1}$$

Donde:

ET= evapotranspiración en (mm/día).

Δ/α = Pendiente de la curva de presión de saturación del vapor, según la temperatura del aire se obtiene del CUADRO IX.

Rn= flujo de radiación neta, o balance de energía en (mm/día) de evaporación equivalente, **$Rn = RG(1-\alpha) + RL$** , **Donde:**

RG= Radiación global que llega a la superficie terrestre, medida en la estación y expresada en calorías/cm².día.

α = Albedo o coeficiente de reflexión Ver CUADRO X.

RL= Radiación terrestre o de onda larga, de salida.

$$RL = (1.35RG/Ra - 0.35)RLO, \text{ Donde:}$$

Ra= Radiación solar extraterrestre. Se encuentra en el CUADRO VII, En función del mes y la latitud.

$$RLO = -[0.98 - (0.67 + 0.051\sqrt{e})][(11.71 \times 10^{-8}) (T^{\circ}K)^4]$$

e= (es)(HR)

es= presión real de vapor de la atmosfera, (mm Hg). Ver CUADRO IX

HR= Humedad relativa.

T°= Temperatura en grados Kelvin.

Ea= Componente aerodinámico de acuerdo a la velocidad del viento y el déficit de presión de saturación del aire. Para una superficie libre de agua, la ecuación es la siguiente:

$Ea = [0.35 (es - e)(0.5 + 5/800\mu)]$, mientras que para una superficie con vegetación la ecuación es la siguiente:

$$Ea = [0.35 (es - e)(1.0 + 5/800\mu)] , \text{ Donde:}$$

Ea = Evaporación del agua en (mm/día).

e,es = Presión real y presión de saturación de vapor.

μ = Velocidad del viento en km/día medido a 2 m de altura. Las mediciones realizadas a alturas diferentes de 2 m, se pueden corregir por la formula siguiente:

$$\mu = \mu_2 (L_n^{6.6} / L_n n).$$

NOTA: Cuando no se cuenta con registros de radiación solar medida en la estación meteorológica, y en su lugar sí se tienen los registros de horas de sol o el porcentaje de insolación, se puede estimar la radiación solar incidente a partir de la fórmula:

$R_s = R_a (a + b n / N)$, Donde:

R_s = radiación solar incidente expresada en evaporación equivalente en (mm/día).

R_a = radiación solar extraterrestre, se obtiene del CUADRO VII.

a, b= constantes que dependen de la latitud. Varían muy poco. $a = 0.255$, $b = 0.472$

n= duración, en horas, del brillo solar medido en la estación meteorológica.

N= duración máxima posible del brillo solar que teóricamente deben presentarse en el lugar y depende de la latitud y el mes del año según el CUADRO VIII.

CUADRO IX. PENDIENTE EN UN PUNTO DE LA CURVA DE PRESIÓN DE SATURACIÓN DE VAPOR- TEMPERATURA (Δ/α) Y PRESIÓN DE SATURACIÓN DE VAPOR (E_s) EN (MM HG).

T°C	Δ/α	E_s	T°C	Δ/α	e_s
10	1.23	9.21	25	2.78	23.76
15	1.64	12.79	26	2.92	25.21
16	1.73	13.63	27	3.03	26.74
17	1.82	14.53	28	3.23	28.35
18	1.92	15.48	29	3.40	30.04
19	2.03	16.48	30	3.57	31.82
20	2.14	17.53	31	3.75	33.70
21	2.26	18.65	32	3.93	35.66
22	2.38	19.83	33	4.12	37.73
23	2.51	21.07	34	4.32	39.90
24	2.64	22.38	35	4.53	42.18

CUADRO X. ALBEDO O COEFICIENTE DE REFLEXIÓN DE DIVERSAS SUPERFICIES Y CUBIERTAS VEGETALES (ADOPTADO DE SELLERS, 1965 Y CHANG, 1968).

Superficie	Albedo, α
Agua	0.06 – 0.09
Nieve	0.75 – 0.90
Suelo oscuro	0.05 – 0.15
Suelo claro	0.25 – 0.45
Selva conífera	0.05 – 0.15
Selva decidua	0.10 – 0.20
Rastrojo	0.15 – 0.17
Nubes cumuliformes	0.70 – 0.90
Nubes estratos	0.60 – 0.85
Nubes altos estratos	0.40 – 0.60
Nubes cirroestratos	0.45 – 0.50
Pradera de gramíneas	0.15 – 0.27
Pradera de alfalfa	0.25 – 0.27
Trigo, centeno y cereales	0.10 – 0.25
Papa	0.15 – 0.27
Remolacha	0.25 – 0.27
Maíz	0.12 – 0.24
Algodón	0.17 – 0.25
Espinaca	0.24 – 0.28
Piña	0.05 – 0.08
Caña de azúcar	0.05 – 0.18

Fuente: Norero Aldo, CIDIAT.

d. MÉTODO DE THORNTHWAITE

$$ETp = 16 \frac{(10T^\circ)^a}{I}$$

Donde:

ETP = evapotranspiración en (mm/mes).

T° = temperatura promedio mensual en centígrados (°C).

im= índice de calor mensual, obtenido del CUADRO XI, o con la fórmula a partir

de la temperatura media. $im = \left[\frac{T^\circ C}{5} \right]^{1.514}$

I= ΣIm = índice de calor anual

$$a = 6.75 \times 10^{-7} I^3 - 7.71 \times 10^{-5} I^2 + 1.79 \times 10^{-2} I + 0.43239$$

NOTA: El valor de ETP obtenido es para meses de 30 días considerando 12 horas diarias de sol, por lo que deben multiplicarse por un factor de corrección que está en función del mes y de la latitud del lugar. Este factor de corrección se obtiene del CUADRO XII.

CUADRO XI. ÍNDICE CALÓRICO $i = \left[\frac{T^{\circ}}{5}\right]^{1.514}$

T°C	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
10	2.86	2.90	2.94	2.99	3.03	3.06	3.12	3.16	3.21	3.25
11	3.30	3.34	3.39	3.44	3.48	3.53	3.56	3.62	3.67	3.72
12	3.76	3.81	3.86	3.91	3.96	4.00	4.05	4.10	4.15	4.20
13	4.25	4.30	4.35	4.40	4.45	4.50	4.55	4.60	4.65	4.70
14	4.75	4.81	4.86	4.91	4.96	5.01	5.06	5.12	5.17	5.22
15	5.28	5.33	5.38	5.44	5.49	5.55	5.60	5.65	5.71	5.76
16	5.82	5.87	5.93	5.98	6.04	6.10	6.16	6.21	6.26	6.32
17	6.38	6.44	6.49	6.55	6.61	6.66	6.72	6.78	6.84	6.90
18	6.95	7.01	7.07	7.13	7.19	7.25	7.31	7.37	7.43	7.49
19	7.55	7.61	7.67	7.73	7.79	7.85	7.91	7.97	8.03	8.10
20	8.16	8.22	8.28	8.34	8.41	8.47	8.53	8.59	8.64	8.72
21	8.78	8.85	8.91	8.97	9.04	9.10	9.17	9.23	9.29	9.36
22	9.42	9.49	9.55	9.62	9.68	9.75	9.82	9.88	9.96	10.01
23	10.08	10.15	10.21	10.28	10.35	10.41	10.48	10.55	10.61	10.68
24	10.75	10.82	10.89	10.95	11.02	11.09	11.16	11.23	11.30	11.37
25	11.44	11.50	11.57	11.64	11.71	11.78	11.85	11.92	11.99	12.06
26	12.13	12.21	12.28	12.35	12.42	12.49	12.56	12.63	12.70	12.78
27	12.85	12.92	12.99	13.07	13.14	13.21	13.28	13.36	13.43	13.50
28	13.58	13.65	13.72	13.80	13.87	13.94	14.02	14.09	14.17	14.24
29	14.32	14.39	14.47	14.54	14.62	14.69	14.77	14.84	14.92	14.99
30	15.07	15.15	15.22	15.30	15.38	15.45	15.53	15.61	15.68	15.76

CUADRO XII. DURACIÓN MÁXIMA POSIBLE DE LUZ DEL SOL PARA DIFERENTES MESES Y LATITUDES NORTE EXPRESADAS EN UNIDADES DE 30 DÍAS DE 12 HORAS CADA UNO.

Latitud Norte	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
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
10°	1.00	0.91	1.03	1.03	1.08	1.06	1.08	1.07	1.02	1.02	0.98	0.99
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
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

Para encontrar la duración máxima posible de luz solar de cualquier mes multiplíquese 12 x 30 x coeficiente.

e. MÉTODO DE JENSEN & HAISE

$$ETP = (0.078 + 0.0252 T^{\circ}) R_s/L$$

Donde:

ETP = evapotranspiración en (cm/día).

T° = temperatura media mensual en grados centígrados (°C).

Rs = radiación solar incidente en cal/cm².día

Rs = radiación solar incidente expresada en evaporación equivalente en (mm/día).

$$R_s = R_a (a + b n / N)$$

Donde:

Ra= radiación solar extraterrestre, se obtiene del CUADRO VII.

a, b= constantes que dependen de la latitud. Varían muy poco. $a= 0.255$, $b= 0.472$

n= duración, en horas, del brillo solar medido en la estación meteorológica.

N= duración máxima posible del brillo solar que teóricamente deben presentarse en el lugar y depende de la latitud y el mes del año según el CUADRO VIII.

L = calor latente de vaporización, cal/cm³

$$L = 595.9 - 0.55T^{\circ}$$

f. MÉTODO DE GARCÍA-LÓPEZ

$$ETp = [(1.21 \times 10^{(7.45 T^{\circ})/(234.5 + T^{\circ})}) (1 - HR)] + [0.21T^{\circ} - 2.30]$$

Donde:

ETP = evapotranspiración diaria en (mm/día).

T° = temperatura promedio durante las horas del día en (°C).

HR = humedad relativa media durante las horas del día en decimal.

4.3.2 Obtención de la precipitación segura.

En el uso y manejo de los recursos hídricos se le denomina precipitación segura a aquel valor de la precipitación que se presenta con un 75% de probabilidad de excedencia. Esto significa que a futuro, en la práctica se espera que uno de cada cuatro años no se supere el valor calculado.

Este procedimiento aplica para todos los meses en aquellas estaciones con registros suficientemente extensos y confiables, previamente sometidos a análisis de doble masa para verificar su consistencia, además del relleno de los datos faltantes.

La precipitación segura se calcula a partir de la ecuación de la distribución normal estandarizada.

$$Z = \frac{Xi - \mu}{\sigma}$$

Quedando así:

$$Xi = (Z * \sigma) + \mu$$

Donde:

Xi = precipitación segura (mm)

Z = -0.675, valor tabular interpolado. Correspondiente a la probabilidad de 0.75 (75%).

σ = Desviación estándar de la precipitación mensual promedio.

μ = Precipitación promedio al mes correspondiente (mm).

NOTA: Se obtuvo el valor de **Z** en la tabla, correspondiente a la probabilidad de 0.75 (75% de probabilidad de excedencia); sin embargo este dato se ajustó para la tabla usada en la FIGURA 1, ya que la misma solo presenta el 50% de las

probabilidades, donde: $P_{\text{tabulada}} = 1.00 - 0.75 = 0.25$, valor tabular que equivale a $Z = -0.675$, (ya interpolado), como se muestra en la FIGURA 1.

FIGURA 1. VALOR DE Z EXTRAPOLADO (CORRESPONDIENTE A LA PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA AL 75%).

z	-0.675									
	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
-3	0.0013	0.0010	0.0007	0.0005	0.0003	0.0002	0.0002	0.0001	0.0001	0.0000
-2.9	0.0019	0.0018	0.0018	0.0017	0.0016	0.0016	0.0015	0.0015	0.0014	0.0014
-2.8	0.0026	0.0025	0.0024	0.0023	0.0023	0.0022	0.0021	0.0021	0.0020	0.0019
-2.7	0.0035	0.0034	0.0033	0.0032	0.0031	0.0030	0.0029	0.0028	0.0027	0.0026
-2.6	0.0047	0.0045	0.0044	0.0043	0.0041	0.0040	0.0039	0.0038	0.0037	0.0036
-2.5	0.0062	0.0060	0.0059	0.0057	0.0055	0.0054	0.0052	0.0051	0.0049	0.0048
-2.4	0.0082	0.0080	0.0078	0.0075	0.0073	0.0071	0.0069	0.0068	0.0066	0.0064
-2.3	0.0107	0.0104	0.0102	0.0099	0.0096	0.0094	0.0091	0.0089	0.0087	0.0084
-2.2	0.0139	0.0136	0.0132	0.0129	0.0125	0.0122	0.0119	0.0116	0.0113	0.0110
-2.1	0.0179	0.0174	0.0170	0.0166	0.0162	0.0158	0.0154	0.0150	0.0146	0.0143
-2	0.0228	0.0222	0.0217	0.0212	0.0207	0.0202	0.0197	0.0192	0.0188	0.0183
-1.9	0.0287	0.0281	0.0274	0.0268	0.0262	0.0256	0.0250	0.0244	0.0239	0.0233
-1.8	0.0359	0.0351	0.0344	0.0336	0.0329	0.0322	0.0314	0.0307	0.0301	0.0294
-1.7	0.0446	0.0436	0.0427	0.0418	0.0409	0.0401	0.0392	0.0384	0.0375	0.0367
-1.6	0.0548	0.0537	0.0526	0.0516	0.0505	0.0495	0.0485	0.0475	0.0465	0.0455
-1.5	0.0668	0.0655	0.0643	0.0630	0.0618	0.0606	0.0594	0.0582	0.0571	0.0559
-1.4	0.0808	0.0793	0.0778	0.0764	0.0749	0.0735	0.0721	0.0708	0.0694	0.0681
-1.3	0.0968	0.0951	0.0934	0.0918	0.0901	0.0885	0.0869	0.0853	0.0838	0.0823
-1.2	0.1151	0.1131	0.1112	0.1093	0.1075	0.1056	0.1038	0.1020	0.1003	0.0985
-1.1	0.1357	0.1335	0.1314	0.1292	0.1271	0.1251	0.1230	0.1210	0.1190	0.1170
-1	0.1587	0.1562	0.1539	0.1515	0.1492	0.1469	0.1446	0.1423	0.1401	0.1379
-0.9	0.1841	0.1814	0.1788	0.1762	0.1736	0.1711	0.1685	0.1660	0.1635	0.1611
-0.8	0.2119	0.2090	0.2061	0.2033	0.2005	0.1977	0.1949	0.1922	0.1894	0.1867
-0.7	0.2420	0.2389	0.2358	0.2327	0.2296	0.2266	0.2236	0.2206	0.2177	0.2148
-0.6	0.2743	0.2709	0.2676	0.2643	0.2611	0.2578	0.2546	0.2514	0.2483	0.2451
-0.5	0.3085	0.3050	0.3015	0.2981	0.2946	0.2912	0.2877	0.2843	0.2810	0.2776
-0.4	0.3446	0.3409	0.3372	0.3336	0.3300	0.3264	0.3228	0.3192	0.3156	0.3121
-0.3	0.3821	0.3783	0.3745	0.3707	0.3669	0.3632	0.3594	0.3557	0.3520	0.3483
-0.2	0.4207	0.4168	0.4129	0.4090	0.4052	0.4013	0.3974	0.3936	0.3897	0.3859
-0.1	0.4602	0.4562	0.4522	0.4483	0.4443	0.4404	0.4364	0.4325	0.4286	0.4247
0.0	0.5000	0.4960	0.4920	0.4880	0.4840	0.4801	0.4761	0.4721	0.4681	0.4641

FUENTE: Aguilar s.f.

4.4 CUARTO PASO: Necesidades de riego de los cultivos

Luego de haber determinado la demanda de agua de los cultivos, las necesidades de riego se calculan con el siguiente procedimiento:

4.4.1 Evapotranspiración del cultivo

Una vez obtenido el valor de la Evapotranspiración Potencial, por el método que se adecua a la zona de interés. Se procede a calcular la Evapotranspiración del Cultivo (ETc), también conocido como uso consuntivo del cultivo, a través de la siguiente fórmula:

$$ETc = ETp * Kc$$

DONDE:

ETc= Evapotranspiración del cultivo o Uso consuntivo del cultivo (mm/día).

ETp= Evapotranspiración Potencial (mm/día).

Kc= Coeficiente de cultivo. Ver CUADRO III.

4.4.2 Requerimiento de agua (Req)

Es el aporte del agua a través del riego, tomando en consideración la humedad producto del aporte de las precipitaciones; en lugares donde la precipitación es escasa, prácticamente toda la demanda será satisfecha mediante el riego.

$$Req = ETc - Ppt$$

DONDE:

Req= Requerimiento de agua (mm).

ETc= Demanda de Agua del cultivo (mm)

Ppt= Precipitación segura al 75% de probabilidad de ocurrencia (mm).

4.4.3 Requerimiento volumétrico neto de agua (Req. Vol. Neto)

$$Req. Vol. Neto = \frac{Req}{Efr} * 10$$

DONDE:

Req. Vol. Neto= Se expresa en m³/ha.

Req= Requerimiento de agua (mm).

Efr= Eficiencia de riego (%/100)

4.4.4 Módulo de riego

Es la necesidad de riego del cultivo, teniendo en cuenta la eficiencia de riego del proyecto.

$$MR = Req. Vol. Neto \left(\frac{1000}{3600 * NDm * HRd} \right)$$

DONDE:

MR= Módulo de riego (l/s/Ha).

NDm= Número de días del mes.

HRd= Horas de aplicación de riego o de jornada de trabajo.

4.4.5 Demanda real o caudal de riego

Se utiliza para determinar si la demanda de agua puede ser suplida por la fuente de abastecimiento.

Se utiliza para compararla con el caudal de la fuente de agua disponible y determinar si la misma puede abastecer o no a la demanda requerida.

$$DR = MR * A$$

DONDE:

DR= Demanda real o caudal de riego (l/s/jornada).

MR= Módulo de Riego (l/s/Ha).

A= Área total a regar (Has).

Según Aguilar (s.f.), El caudal a captar de la fuente, calculado para el proyecto, deberá compararse con la existencia de agua en la fuente a emplear para verificar la viabilidad del proyecto. El caudal a considerar en la fuente de abastecimiento debe estar referido a lo que se conoce como **Caudal de seguridad**, o sea, aquel valor de caudal que se presenta con un 90% de probabilidad de excedencia. Este valor se calcula a partir de los **caudales promedio mensual**, empleando diferentes distribuciones probabilísticas para un periodo mínimo de 20 años. En

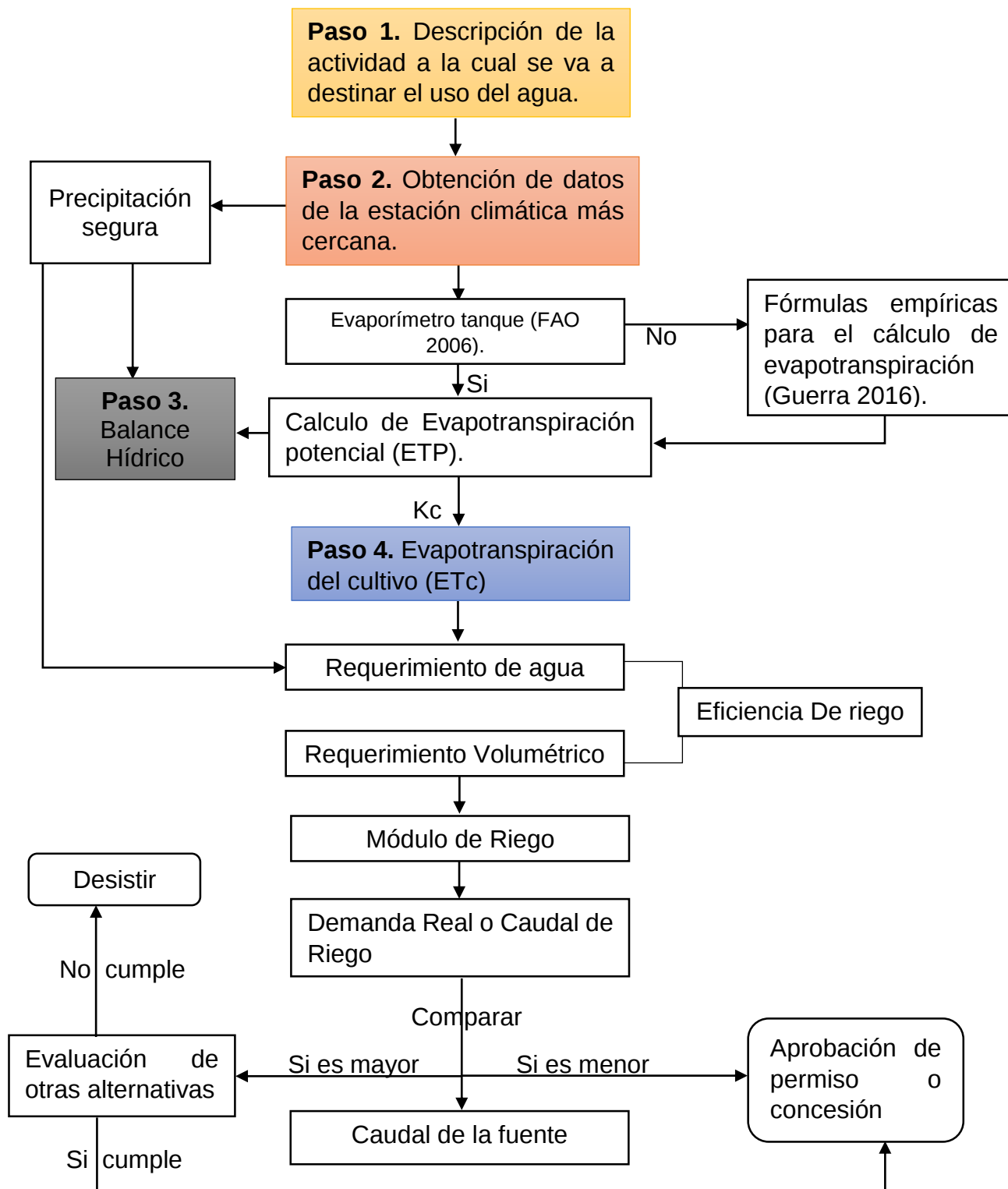
ocasiones siempre se hace necesario aplicar técnicas de cálculos hidrológicos para el cálculo y traslado de caudales, ya que en la fuente de abastecimiento no existen registros de esorrentía.

El caudal de seguridad se compara con el caudal a derivar, es decir el caudal a aplicar en el riego, lo que permitirá determinar si el proyecto es viable técnicamente, en este sentido el caudal de seguridad debe resultar mayor.

Si resulta contrario, que la fuente de agua no es la suficiente, se requiere analizar diferentes alternativas, entre las que se pueden mencionar las siguientes:

- 1- Estudiar otra disponibilidad de fuente, por ejemplo superficial más subterránea (pozos).
- 2- Estudiar la construcción de obras de regulación para almacenar un volumen de agua durante la época lluviosa para cubrir la necesidad durante el riego en época de escases.
- 3- Si no hay suficiente agua, o es imprácticas otras alternativas queda estudiar el sistema de riego para mejorar su eficiencia o analizar el método de riego. Reducir pérdidas ya sea en conducción o en la distribución.
- 4- Otra alternativa puede ser incluso, cambiar el patrón de cultivo, programando las siembras de primera y segunda coa, disminuir la superficie del proyecto (es decir la cantidad de hectáreas), o sencillamente desistir.

FIGURA 2. DIAGRAMA DE FLUJO DE LOS PASOS GENERALES QUE CONLLEVA LA DOTACIÓN DE AGUA PARA RIEGO AGRÍCOLA.



5 CONCLUSIONES

Se desarrolló un procedimiento metodológico para la obtención de la demanda de agua para riego de los diferentes cultivos de Panamá que permita realizar un uso más eficiente del recurso hídrico en el sector agrícola del país.

Se encontró que el procedimiento para determinar la demanda de agua contempla cuatro etapas primero se inicia con la descripción del proyecto, luego la obtención de los datos climáticos, el análisis de los datos climáticos para realizar el balance hídrico y las necesidades del riego de los cultivos.

La propuesta que se presenta en este manual técnico, servirá de apoyo para que el Ministerio de Ambiente tenga un mayor control al momento de aprobar o rechazar una solicitud de concesión o permiso de agua para uso en el sector agrícola en Panamá. Del mismo modo será una herramienta de guía para el personal idóneo que realizará el estudio de la solicitud, ya que, permitirá al solicitante conocer de antemano las dotaciones y condiciones técnicas bajo las cuales será evaluada su solicitud.

El cálculo de la evapotranspiración potencial juega un papel importante dentro del cálculo de dotación de agua para los cultivos agrícolas. Es por ello que se debe tener mucho cuidado a la hora de elegir el método adecuado de acuerdo a la región de interés.

Los métodos de cálculo de Evapotranspiración que se describen en este documento, no dan un dato preciso para cada área, pero se ha comprobado que son los datos más aceptables en cada región. Por lo tanto sería de mucha importancia realizar ensayos con métodos directos para medir evapotranspiración y así tener un dato de referencia más acorde y en tiempo real.

Un mal cálculo de dotación de agua para cualquier proyecto agrícola puede traer como consecuencia: (si se sobrestima), el uso excesivo del recurso hídrico y la pérdida del mismo ya sea por escorrentía o infiltración. Y (si es sub-estimado), puede afectar los rendimientos del cultivo y traer pérdidas económicas para el productor.

La falta de registros climáticos actualizados en todas las áreas productivas del país es una gran limitante para el cálculo de dotación de agua en el sector agrícola. Por lo tanto es necesario instalar nuevas estaciones de medición de las variables que influyen en la evapotranspiración potencial y en el comportamiento hidrológico como (evaporación, temperatura, humedad relativa, velocidad del viento, brillo solar, precipitación y el caudal). Además se debe tomar en cuenta los registros de las estaciones particulares, cuando en la región no se cuenta con estación de ETESA.

6 RECOMENDACIONES

1. Se recomienda al Ministerio de Ambiente, llevar este documento a consulta con todas las entidades y gremios involucrados en la administración del recurso hídrico del país, para recoger información y sugerencias, de modo que se pueda analizar la posibilidad de aprobar esta investigación como Reglamento Técnico.
2. Continuar las investigaciones para manuales de cálculo de dotación para otros usos (pecuario y agroindustrial), tomando en cuenta los usos no consuntivos del agua con alto poder contaminante.
3. Actualizar la base de datos de las estaciones climáticas para tener una información confiable con registros completos.
4. Tomar en cuenta los registros de las estaciones meteorológicas particulares que cuenten con datos actualizados de las variables climáticas, cuando en el área de estudio no se cuente con una estación climática de ETESA.
5. Continuar las investigaciones de la evapotranspiración potencial para las provincias de Panamá, Panamá Oeste, Colón, Darién y Bocas del toro, de modo que la propuesta que se presenta en esta investigación se aplique en todas las regiones productivas del país.

6. Tomar en cuenta los coeficientes de cultivos globales y los coeficientes que incluyan las cuatro etapas de desarrollo del cultivo, para que sean aplicados en el cálculo de las necesidades de agua de los cultivos que se presentan en esta investigación.
7. Identificar las fuentes de agua utilizadas por los productores actualmente; las fuentes deben estar referidas en términos de volumen captado.
8. Identificar las ineficiencias en el mecanismo de asignación del servicio. Quizá el déficit de oferta nace en un manejo inadecuado por parte de la entidad encargada.
9. Identificar las ineficiencias económicas del mecanismo de asignación. Quizás el déficit de oferta nace de un desperdicio de algunos agricultores por una insignificante tarifa.
10. Elegir el sistema de riego más eficiente y adecuado para satisfacer las necesidades del cultivo. En este sentido, los sistemas de riego por goteo o por aspersión, consumen menos agua que el riego de superficie y pueden lograr buenos rendimientos por hectárea regada.
11. Elegir el momento de efectuar los riegos para evitar la evaporación del agua, sobre todo cuando se utiliza el riego por aspersión. En este sentido es preferible efectuar el riego en las primeras horas de la mañana o últimas de la tarde, o incluso por la noche, en lugar de hacerlo a mediodía.

7 BIBLIOGRAFÍA

Aguilar, N. s.f. Material de clase. Métodos de cálculos de la evapotranspiración potencial y requerimiento de agua de los cultivos. 20 p.

Carrazón, J. 2007. Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego. Tegucigalpa, Honduras. 218 p. (Serie Tecnologías).

Castro, R; León, JC; Sulca, NW. 2015. Cálculo de Kc, ETo, ETc, demanda de agua (en línea). Ayacucho, Perú. Consultado 23 de febrero 2018. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/299284155/CALCULO-DE-DEMANDA-DE-AGUA-PROYECTO-DE-RIEGO-pdf>

Díaz, J. 2006. Riego por Gravedad. Cali, Colombia, Universidad del Valle. Pág. 57. Consultado el 10 de febrero de 2018. Disponible en: https://books.google.com.pa/books?id=MFad1TnHAIQC&pg=PA57&lpg=PA57&dq=eficiencia+de+riego+segun+ames+1962&source=bl&ots=PG-mpVbQYy&sig=crs_LLeM Dafg8UepQgGvflgiLjc&hl=es&sa=X&ved=0ahUKewjc-6bu--_ZA hXD0xQKHW4iBqUQ6AEIKDAA#v=onepage&q=eficiencia%20de%20riego%20segun%20ames%201962&f=false

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2006. Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. ESTUDIO FAO RIEGO Y DRENAJE 56. Por Richard G. Allen.

Guerra, F. 2016. Evaluación de diferentes métodos para calcular la evapotranspiración potencial, como índice de demanda de agua de los principales cultivos del pacífico central y occidental de Panamá. Tesis Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Panamá. 105p.

IMN (Instituto Meteorológico Nacional). 2004. Manual técnico del Departamento de Aguas (en línea). La Uruca, San José, Costa Rica. 24 p. Consultado el 26 de agosto de 2017. Disponible en: <http://www.dse.go.cr/es/02ServiciosInfo/Legislacion/PDF/Ambiente/Aguas/ManualTecnicoDpto.pdf>

IMTA (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua). 2013. Riego presurizado con uso de Energía Renovable (en línea). Estados Unidos de México, México. 24 p. Consultado el 10 de febrero de 2018. Disponible en: <http://repositorio.imta.mx/handle/20.500.12013/861>

Leitón Soubannier, JS. 1985. Riego y drenaje. San José, Costa Rica, Universidad Estatal a Distancia. 180 p.

SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca Y Alimentación). s.f. Estimación de las demandas de consumo de agua. Montecillo, México. 33 p.

Snyder, R. 1992. Equation for evaporation pan to evapotranspiration conversion, Journal of irrigation and drainage engineering of ASCE, New York. Vol. 118, p. 977-980.

UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura). 2008. Balance hídrico superficial de Panamá, periodo 1971-2002. Documentos técnicos PHI-LAC, N°9.

Withers, B; Vipond, S. 1978. El Riego. Diseño y práctica. Tlacoquemecatl, México, Editorial Diana. 350p.

Zimmerman, JD. 1979. El riego. Tlalpan, México, Editorial Continental S.A. 604p.