



**UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZONICA**

**DEPARTAMENTO DE POSTGRADOS**

**MAESTRIA EN AGRONOMIA MENCIÓN SISTEMAS**

**AGROPECUARIOS**

**PROYECTO DE INNOVACION**

APLICACIÓN DE LA METODOLOGIA DE BLANEY - CRIDDLE PARA  
EL USO EFICIENTE DEL AGUA DE RIEGO EN LOS PRINCIPALES  
CULTIVOS AGRICOLAS DEL NORORIENTE DE LA PARROQUIA  
ALAQUEZ, CANTON LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI.

**AUTOR:**

GUIDO EUCLIDES YAULI CHICAIZA

**DIRECTOR:**

Dr. JAVIER DOMINGUEZ BRITO, PhD

PUYO – ECUADOR

2020

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS**

Yo, Guido Euclides Yauli Chicaiza con cédula de identidad 0501604409, declaro ante las autoridades educativas de la Universidad Estatal Amazónica, que el contenido del Proyecto de Innovación titulado: “**APLICACIÓN DE LA METODOLOGIA DE BLANEY - CRIDDLE PARA EL USO EFICIENTE DEL AGUA DE RIEGO EN LOS PRINCIPALES CULTIVOS AGRICOLAS DEL NORORIENTE DE LA PARROQUIA ALAQUEZ, CANTON LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI**”, es absolutamente original, auténtico y personal.

En tal virtud y según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente, certifico libremente que los criterios y opiniones que constan en el Proyecto de Investigación y Desarrollo son de exclusiva responsabilidad de la autora; y que los resultados expuestos pertenecen a la Universidad Estatal Amazónica.

Puyo, 14 de agosto de 2020

Guido Euclides Yauli Chicaiza

C.I.: 0501604409

## **AVAL**

Quien suscribe Javier Domínguez Brito, Director del Trabajo de Titulación, modalidad Proyecto de Innovación titulado: **APLICACIÓN DE LA METODOLOGIA DE BLANEY - CRIDDLE PARA EL USO EFICIENTE DEL AGUA DE RIEGO EN LOS PRINCIPALES CULTIVOS AGRICOLAS DEL NOR ORIENTE DE LA PARROQUIA ALAQUEZ, CANTON LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI**” a cargo de Guido Euclides Yauli Chicaiza egresado de la segunda cohorte de la Maestría en Agronomía mención Sistemas Agropecuarios de la Universidad Estatal Amazónica.

Certifico haber acompañado el proceso de elaboración del Proyecto de Innovación y considero cumple los lineamientos y orientaciones establecidas en la normativa vigente de la institución por lo que se encuentra listo para ser sustentado.

Por lo antes expuesto se avala el Proyecto de innovación para que sea presentado ante la Dirección de Posgrado como forma de titulación como Magister en Agronomía mención Sistemas Agropecuarios y que dicha instancia considere el mismo a fin de que tramite lo que corresponda.

Para que a si conste, firmo la presente a los 14 días del mes de agosto de 2020.

Atentamente,

---

Javier Domínguez Brito.

**DIRECTOR DEL PROYECTO DE INNOVACION**

# **CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

Este Proyecto de Innovación fue revisado y aprobado por el siguiente tribunal de sustentación de la Universidad Estatal Amazónica:

---

**Dr.C Yoel Rodriguez Guerra, PhD.  
PPRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

---

**Dr.C Segundo Benedicto Valle Ramírez, PhD.  
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

---

**Dr.C Ricardo Vinicio Abril Saltos, PhD.  
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



**UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA  
CENTRO DE POSTGRADOS  
SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND**

**OFICIO Nº 03-JDB-UEA-2020**

Puyo, 25 de agosto del 2020

Por medio del presente **CERTIFICO** que, el trabajo de titulación “*APLICACIÓN DE LA METODOLOGIA DE BLANEY - CRIDDLE PARA EL USO EFICIENTE DEL AGUA DE RIEGO EN LOS PRINCIPALES CULTIVOS AGRICOLAS DEL NOR ORIENTE DE LA PARROQUIA ALAQUEZ, CANTON LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI*”, correspondiente al Ing. **GUIDO EUCLIDES YAULI CHICAIZA**, con cédula 0501604409, de la maestría en Agronomía Mención Sistemas Agropecuarios cuyo director de proyecto es el Ing. Javier Domínguez Brito, Dr.C. Proyecto que ha sido revisado mediante el sistema antiplagio Urkund, reportando una similitud del 1%, informe generado el día 25 de agosto del 2020 por parte del director del proyecto.

Particular que comunico para los fines pertinentes

---

Ing. Javier Domínguez Brito, Dr.C  
**DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN**

## **AGRADECIMIENTO**

A la Universidad Estatal Amazónica, al Departamento de Postgrados, a la Maestría en Agronomía mención Sistemas Agropecuarios.

A la Ingeniera Master Sandra Soria Re, Coordinadora de la Maestría, por su brillante gestión.

Al Colectivo Docente que impartió los módulos académicos con mucha solvencia

Al Dr. C. Javier Domínguez Brito, PhD, Director del Proyecto de Innovación, por su acertada dirección

## **DEDICATORIA**

Con toda consideración, afecto y amor dedico este trabajo a mi esposa Julieta a mis hijos Andrea de las Mercedes y Guido Andrés, por su incondicional apoyo durante todo este proceso, por sus palabras de aliento y paciencia en los momentos más difíciles.

## **Resumen ejecutivo**

En el Ecuador el agua disponible en todos los sistemas hidrográficos es de 432.000 km<sup>3</sup>/año, de los cuales 115.000 corresponden a la vertiente del pacifico y 317.000 a la Amazonía, sin embargo, la disponibilidad efectiva es de 147.000 km<sup>3</sup>/año, con un consumo per cápita de 32.1 m<sup>3</sup>/año. La investigación se llevó a cabo en el sector Nororiental de la parroquia Aláquez, cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi, el objetivo de la misma fue determinar los requerimientos hídricos de los cultivos: papa, haba, maíz y avena, mediante una investigación descriptiva, en donde se evaluó datos climatológicos con valores normales en zona tomados de las estaciones Meteorológicas que influyen al sector: Estación Rumipamba, Estación Universidad Técnica de Cotopaxi y Estación Cotopaxi, los datos fueron procesados mediante el cálculo de evapotranspiración de Blaney - Criddle, bajo la determinación de evapotranspiración de referencia se calculó la evapotranspiración del cultivo siendo el requerimiento hídrico, para luego comparar con el régimen pluviométrico para establecer los valores del agua de riego, entre los principales resultados obtenidos destacan las necesidades hídricas de la haba con 552,41mm, la avena con 464,09 mm , papa con 448,81 mm y el maíz con 383,6 mm, la pluviometría no es suficiente para cubrir esas pérdidas por lo que se necesita riego.

Palabras clave: Agua de riego, evapotranspiración, lámina de riego, humedad.



## **EXECUTIVE SUMMARY**

In Ecuador, the water available in all hydrographic systems is 432,000 km<sup>3</sup> / year, of which 115,000 correspond to the Pacific slope and 317,000 to the Amazon, however, the effective availability is 147,000 km<sup>3</sup> / year, with a consumption per capita of 32.1 m<sup>3</sup> / year. The research was carried out in the northeastern sector of the Aláquez parish, Latacunga canton, Cotopaxi province, the objective of it was to determine the water requirements of the crops: potato, broad bean, corn and oats, through descriptive research, in where climatological data was evaluated with normal values in the area taken from the meteorological stations that influence the sector: Rumipamba Station, Cotopaxi Technical University Station and Cotopaxi Station, the data were processed by calculating the Blaney - Criddle evapotranspiration, under the determination of reference evapotranspiration, the evapotranspiration of the crop was calculated being the water requirement, to then compare with the pluviometric regime to establish the values of the irrigation water, among the main results obtained are the water needs of the broad bean with 552.41mm, the oats with 464.09 mm, potato with 448.1 mm and corn with 383.6 mm, the pluvio Metrics is not enough to cover these losses so irrigation is needed.

**Keywords:** Irrigation water, evapotranspiration, irrigation sheet, humidity.

# TABLA DE CONTENIDOS, FIGURAS Y TABLAS

## Contenido

<b>CAPITULO I. INTRODUCCIÓN</b> .....	13
<b>1.1 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA</b> .....	14
<b>1.2 PROBLEMA</b> .....	15
<b>1.3 HIPÓTESIS</b> .....	15
<b>1.4 OBJETIVOS</b> .....	15
<b>OBJETIVO GENERAL</b> .....	15
<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b> .....	15
<b>CAPITULO II. REVISIÓN BIBLIOGRAFICA.</b> .....	16
<b>Riego</b> .....	16
<b>Lamina de riego</b> .....	18
<b>Humedad del suelo</b> .....	19
<b>Evapotranspiración</b> .....	20
<b>Requerimiento hídrico del cultivo de la papa</b> .....	20
<b>Requerimiento hídrico del cultivo del haba</b> .....	22
<b>Requerimiento hídrico del cultivo del maíz</b> .....	23
<b>Requerimiento hídrico de la avena forrajera</b> .....	26
<b>Evapotranspiración en función a las condiciones de suelo</b> .....	27
<b>CAPITULO III. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	30
<b>3.1 LOCALIZACIÓN</b> .....	30
Figura 1. Mapa satelital de la zona de influencia de la investigación .....	30
<b>3.2 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES</b> .....	30
Tabla 1. OPERACIONIZACION DE LAS VARIABLES .....	31
<b>3.3 TIPO DE INVESTIGACIÓN</b> .....	32
<b>3.4 MÉTODO DE INVESTIGACIÓN</b> .....	32
<b>3.5 TRATAMIENTO DE DATOS</b> .....	33
Tabla 2. Duración de los cultivos propuesto para la investigación, en días.....	35
<b>3.5.2 Recursos humanos y materiales</b> .....	35
Tabla 3. Recursos humanos del proyecto.....	35
<b>3.5.3 Materiales</b> .....	36

<b>CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	37
<b>4.1 CALCULO DE LAS NECESIDADES HIDRICAS DE LOS CULTIVOS PAPA, MAIZ, HABA Y AVENA MEDIANTE EL METODO BLANEY – CRIDDLE</b> .....	37
<b>4.2 DETERMINACION DEL REQUERIMIENTO HIDRICO DE LA PAPA</b> .....	37
Tabla 4. Valores promedios diarios mensuales de las variables climáticas de las estaciones: Rumipamba, Universidad Técnica de Cotopaxi y Cotopaxi .....	38
Tabla 5. Valores calculados del coeficiente de Blaney- Criddle y evapotranspiración referencia del Nororiente de Alaquez, Ecuador, para los meses mayo a septiembre...	39
Tabla 6. Valores del coeficiente del cultivo (Kc) en dependencia de la etapa fenológica .....	39
Tabla 7. Valores de ETc (mm) .....	40
Tabla 8. Valores de las necesidades hídricas (mm) durante el período .....	40
Tabla 10. Eficiencia de los métodos de riego.....	42
<b>4.3 DETERMINACIÓN DEL REQUERIMIENTO HIDRICO DEL CULTIVO DEL MAIZ</b> .....	43
Tabla 11. Valores promedios diarios mensuales de las variables climáticas de las estaciones: Rumipamba, Universidad Técnica de Cotopaxi y Cotopaxi .....	43
Tabla 12. Valores calculados del coeficiente de Blaney- Criddle y evapotranspiración referencia del Nororiente de Alaquez, Ecuador, para los meses septiembre a diciembre .....	45
Tabla 13. Valores del coeficiente del cultivo (Kc) en dependencia de la etapa fenológica.....	45
Tabla 14. Valores de ETc (mm) .....	45
Tabla 15. Valores de las necesidades hídricas (mm) durante el período .....	46
Tabla 16. Tabla de balance hídrico, con valores mensuales .....	47
Tabla 17. Eficiencia de los métodos de riego.....	47
<b>4.4 DETERMINACIÓN DEL REQUERIMIENTO HIDRICO DEL CULTIVO DEL HABA</b> .....	48
Tabla 18. Valores promedios diarios mensuales de las variables climáticas de las estaciones: Rumipamba, Universidad Técnica de Cotopaxi y Cotopaxi .....	49
Tabla 19. Valores calculados del coeficiente de Blaney- Criddle y evapotranspiración referencia del Nororiente de Alaquez, Ecuador, para los meses octubre a marzo .....	50
Tabla 20. Valores del coeficiente del cultivo (Kc) en dependencia de la etapa fenológica.....	50
Tabla 21. Valores de Etc (mm) .....	51
Tabla 22. Valores de las necesidades hídricas (mm) durante el período .....	51
Tabla 23. Tabla de balance hídrico, con valores mensuales .....	52
Tabla 24. Eficiencia de los métodos de riego.....	53

<b>4.5 DETERMINACIÓN DEL REQUERIMIENTO HIDRICO DEL CULTIVO DE LA AVENA</b> .....	53
Tabla 25. Valores promedios diarios mensuales de las variables climáticas de las estaciones: Rumipamba, Universidad Técnica de Cotopaxi y Cotopaxi .....	54
Tabla 26. Valores calculados del coeficiente de Blaney- Criddle y evapotranspiración referencia del Nororiente de Alaquez, Ecuador, para los meses febrero a julio .....	55
Tabla 27. Valores del coeficiente del cultivo (Kc) en dependencia de la etapa fenológica .....	55
Tabla 28. Valores de Etc (mm) .....	56
Tabla 29. Valores de las necesidades hídricas (mm) durante el período .....	56
Tabla 30. Tabla de balance hídrico, con valores mensuales .....	57
Tabla 31. Eficiencia de los métodos de riego.....	57
<b>4.6 CONCLUSIONES</b> .....	59
<b>4.7 RECOMENDACIONES</b> .....	60
<b>5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	61
<b>ANEXOS</b> .....	65
Anexo 1.....	65
Anexo 2.....	66
Anexo 3.....	67
Anexo 4.....	68
Anexo 5.....	69
Anexo 6.....	70
Anexo 7.....	71
Anexo.8.....	73

## **CAPITULO I. INTRODUCCIÓN**

La relación suelo- agua - planta, es la trilogía esencial dentro un cultivo, estos elementos deben tener una interrelación de funciones naturales, a efectos de dinamizar sus efectos transformadores, vislumbrados en los resultados de ese sistema productivo.

La utilización del agua para riego en el Ecuador está alcanzando niveles importantes dentro del marco de la utilización premeditada del agua en la agricultura, esta gran medida es reflejada en la implementación de un gran número de proyectos de riego que están siendo impulsados por los organismos gubernamentales que regentan el manejo del agua, en virtud de que el País cuenta con un gran potencial de riego, precisamente el Ministerio de Agricultura y ganadería en año 2013 plantea nuevos paradigmas del agua de riego en donde señala que se puede llegar a regar 3 136, 085 hectáreas para ello es necesario responder a este desafío fundamentándose en estrategias que permitan implementar nuevos modelos de gestión sustentable de riego y drenaje (MAGAP, 2013).

Como aporte de las estrategias, precisamente esta la optimización del agua de riego, está la determinación el requerimiento hídrico de los cultivos en las diferentes zonas del país, los mismos que permitirán regular adecuadamente el recurso agua en términos de cantidad, sin menoscabar su funcionamiento como insumo.

Los agricultores requieren conocer a ciencia cierta sobre el agua en la agricultura, pero bajo parámetros de cómo es la sinergia entre la cantidad y funcionamiento frente a las variables climatológicas, agronómicas, sanitarias y de producción. Sin embargo los trabajos científicos no dan la importancia, en este ámbito por lo que son escasos y los procedimientos de tratamiento de información son casi inexistentes, situación que genera que la interpretación de resultados sea errónea, por lo que es necesario estandarizar protocolos para extracción de datos, mantenimiento de equipos con diferentes tipos de sensores y almacenamiento de bases que puedan ser accesibles para estudios de carácter científico y que permitan a los tomadores de decisiones un uso y manejo adecuado del agua (Torres et al., 2018).

En el caso de Ecuador, los datos meteorológicos son provisionados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología INAMHI, por ello desde la década de 1960 se encarga de recopilar y publicar los datos meteorológicos en el Ecuador. La información antiguamente se registraba manualmente por el operario de la estación, lo que ocasionaba un error

involuntario por diversos factores. Un estudio ambiental representativo requiere de datos históricos confiables y validados para poder realizar cualquier tipo de análisis (Carrera et al., 2016).

La determinación de la evapotranspiración de referencia es fundamental para el cálculo de la evapotranspiración de cultivo que cuya sumatoria dará a conocer el requerimiento hídrico de un cultivo, para ello es necesario conocer la dinámica de la meteorología evaluando datos climáticos, así (Pereira, et al., 2006). Sostiene que la evapotranspiración de referencia se puede calcular utilizando datos meteorológicos. Como resultado de una consulta de expertos realizada en mayo de 1990, el método de FAO Penman-Monteith ahora se recomienda como el único método estándar para la definición y el cálculo de la evapotranspiración de referencia.

Los datos climáticos esenciales para la determinación de la evapotranspiración de referencia en cuanto al método de Blaney – Criddle son precipitación media mensual, pluviometría, velocidades de viento, heliofanía y humedad relativa mínima, ya que este método se utiliza como predicción y se aplica para períodos de mes (Fuentes, 1996).

## **1.1 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA**

Se fundamenta en la optimización del agua en términos de cantidad y de su funcionamiento como insumo en la agricultura. En estos momentos los proyectos de riego predominantemente se distribuyen el agua mediante tasas de tiempo, sin evaluar como insumo.

En la zona de la Investigación, la mayoría de habitantes no tienen el uso del agua de riego, sin embargo existe una alta predisposición a implementar los proyectos de riego, en donde la condición de reparto de agua esta función a la cantidad predispuesta en las autorizaciones de la Secretaría del Agua frente al número de socios, básicamente la distribución es mediante una tasa de tiempo, lo cual no permite a los cultivos recibir las dosis del requerimiento hídrico en unos casos y otros puede generar desperdicio si las superficies son pequeñas, por lo tanto un estudio de los requerimiento hídricos regulará óptimamente entre los usuarios.

La forma de estudio es la determinación de la evapotranspiración de la zona a través de métodos de determinación de evapotranspiración de referencia y de cultivo

## **1.2 PROBLEMA**

La utilización del agua en la agricultura en la zona entre los usuarios se regula bajo una tasa de tiempo en función a los caudales de las autorizaciones en los proyectos, bajo esta forma de reparto en ocasiones cumplirán con los requerimiento hídricos y en otras no, lo que hace que los rendimientos productivos no sean influenciados por el agua como insumo del proceso. Entonces se pretende inducir que uno de los factores importantes en la optimización del agua sea las necesidades hídricas determinadas bajo el estudio de la evapotranspiración, por lo que se plantea la siguiente interrogación:

¿Cómo contribuir al uso eficiente del agua de riego en los cultivos: papa, maíz, haba y avena en los proyectos agrícolas mediante el método del cálculo de la evapotranspiración de Blaney – Criddle en Nororiente de la Parroquia Aláquez, cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi?

## **1.3 HIPÓTESIS**

La determinación de los requerimientos hídricos de los cultivos: papa, haba, maíz y avena, contribuirá con un uso más eficiente del agua de riego en los proyectos de la zona Nororiental de la parroquia Aláquez.

## **1.4 OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Evaluar la metodología de Blaney – Criddle para el uso eficiente del agua de riego en los principales cultivos agrícolas del Nororiente de la parroquia Aláquez, cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Determinar la evapotranspiración de referencia como base para el cálculo de los requerimientos hídricos de los principales cultivos mediante el método de: Blaney – Criddle,
2. Calcular la evapotranspiración del cultivo, a efectos de determinar la necesidad hídrica de los cultivos en investigación.

## **CAPITULO II. REVISIÓN BIBLIOGRAFICA.**

### **Riego**

Se asume como la aplicación de agua complementaria a la lluvia a un cultivo, a efectos de garantizar su requerimiento hídrico, con ello afianzar un metabolismo ideal asegurando una gran producción.

El requerimiento hídrico o la necesidad de agua de los cultivos hacen referencia a la cantidad de agua requerida para compensar la pérdida por evaporación y transpiración de las plantas. Estas dos últimas variables son muy difíciles de determinar por separado, por lo que, se acoge el término de evapotranspiración. La necesidad de riego se refiere a la diferencia entre la necesidad de agua del cultivo y la precipitación efectiva. Dentro de esta lámina de riego calculada se incluye el agua necesaria para el lavado de sales, en caso de ser requerido y para compensar la falta de uniformidad o eficiencia en la aplicación del agua (Daza-Torres et al., 2017).

Sólo 3% del agua en el mundo es dulce y de ésta la agricultura consume cerca de 70%, esto sumado a la influencia del cambio climático que, en ciertas áreas modifica el régimen de lluvias, ya sea aumentándolo o reduciéndolo, y a la gran presión que ejerce la creciente población humana, hace que sea imperativo buscar técnicas para disminuir su demanda por este recurso, manteniendo o aumentando la producción por área de cultivo y permitiendo obtener productos de buena calidad que satisfagan la demanda por parte de los consumidores (Díaz, D; Vélez J y Rodríguez P. 2016).

En los países en desarrollo, el sector agrícola es un sector económico importante, ya que contribuye significativamente a los ingresos nacionales y al crecimiento económico. En el pasado, el crecimiento de este sector se basaba principalmente en la expansión de las áreas de cultivo, tanto de riego como de secano. Sin embargo, en la actualidad el potencial para el crecimiento continuo está disminuyendo dado que la frontera agrícola se ha reducido por el crecimiento urbano y la escasez del agua. En regiones de escasez de agua, además, está incrementando la competencia por el agua entre los sectores (agrícolas, domésticos, industriales, comerciales y ambientales), lo que promueve una presión sobre los recursos hídricos en muchas regiones del mundo. Esta escasez afecta sobre todo a la agricultura, considerado el principal usuario con una utilización del 70% del total de agua disponible, por lo que la estrategia clave se centra en mejorar la productividad del agua (Ríos Flores et al., 2016).



El agua ha adquirido relevancia en el debate contemporáneo a raíz de la discusión del cambio climático y la constatación de la disminución de las precipitaciones en muchas áreas del planeta, lo que tiene como efectos una reducción hídrica que precariza la sustentabilidad social y económica. Estos ciclos de disminución hídrica, en territorios de comunidades andinas donde las cuencas en su mayoría son alimentadas por glaciares y aguas subterráneas, repercute en la rápida disminución de estas fuentes (Thompson et al., 2006; Vuille, 2013), y con ellas, los recursos hídricos de los que estas comunidades dependen para el pastoreo y la producción agrícola, entre otros usos de medios de vida (Sepúlveda - Rivera et al., 2015).

### **Uso consuntivo del agua**

Es la cantidad total de agua que necesita un cultivo determinado para realizar la evapotranspiración y la construcción celular, desde la plantación hasta la cosecha, en un régimen climático específico. Se habla del uso consuntivo potencial y uso consuntivo real, siendo el primero un valor referencial ideal tomado desde en cultivo condiciones de crecimiento vegetal uniforme y con una dotación de agua adecuada, el uso consuntivo real, es el valor real del requerimiento hídrico de un cultivo específico, a partir del valor del uso consuntivo potencial y el coeficiente de cultivo (Fuentes, 1996).

La evapotranspiración de referencia ( $E_{Tr}$ ) de una zona y el coeficiente del cultivo ( $K_c$ ) representan parámetros necesarios para determinar los requerimientos hídricos de las plantas (Villafañe, Basso, y Villafañe, 2016).

La evapotranspiración es de los principales componentes del ciclo hidrológico y balance de energía; constituye uno de los procesos críticos e indispensables en diversos campos como agricultura y planeación de los recursos hídricos; en las últimas dos décadas se han desarrollado diversas técnicas para estimar la evapotranspiración, que incluyen el uso de la covarianza de Torbellinos, lisímetro, relación de Bowen, balance de agua en el suelo, scintilometría y percepción pemota. México es un país con baja disponibilidad de agua, por lo que resulta imprescindible no solo mejorar la eficiencia en el uso del agua en la agricultura, sino también promover su uso de manera sustentable además, la limitación de los recursos hídricos se ha convertido en uno de los principales problemas de la agricultura, en la medida que los períodos de sequía son cada vez más recurrentes y prolongados (López Avendaño et al., 2015).

Desde hace varios años el método FAO Penman-Monteith (PM-FAO) es considerado el método estándar tanto para la definición como para el cálculo de la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET<sub>o</sub>). El concepto de ET<sub>o</sub> máxima para una serie histórica de datos no es un valor único como lo sería el máximo absoluto, sino que varía de acuerdo al período considerado (diario, semanal, decádico, mensual) y a la probabilidad de no excedencia considerada. Cuando el objetivo es el diseño de un sistema de riego la ET<sub>o</sub> máxima permite definir el caudal de diseño y con este la capacidad mínima de bombeo y conducción que aseguren el crecimiento potencial de los cultivos (García y Puppo, 2015).

### **Lamina de riego**

Se entiende por lámina de riego a la cantidad de agua aplicada al suelo, expresado en milímetros de altura de agua, un milímetro es equivalente a un litro por metro cuadrado o 10 metros cúbicos por hectárea. La cantidad de milímetros es el resultado del cálculo de la necesidad hídrica de un determinado cultivo, durante todo el ciclo vegetativo. Este es un indicador fundamental para la determinación de la duración de la posición de un dispositivo de riego, como son los aspersores, goteros, micro nebulizadores, entre otros (Fuentes, 1996).

El flujo del agua con una superficie libre es modelado con las ecuaciones de Saint-Venant, que resultan de la aplicación de las leyes de conservación de masa y cantidad de movimiento. En una melga, la relación entre su ancho y el tirante de agua permite considerar las ecuaciones correspondientes al escurrimiento sobre una superficie de ancho infinito (Saucedo, Zavala, y Fuentes, 2015).

La cantidad de agua interfiere directamente en el desarrollo de las plantas, por lo tanto, el conocimiento del manejo hídrico ideal para la fase de formación y desarrollo de las plantas en vivero es tan importante al igual que los demás procesos de producción. Además, la falta de agua puede limitar el desarrollo de las plantas y la irrigación excesiva puede ocasionar lixiviación de nutrientes (Brucker Kelling et al., 2017).

El principal suministro directo de agua hacia los continentes es la precipitación. Sin embargo, ésta no se distribuye de manera homogénea en el planeta y su disponibilidad varía de región en región, dependiendo de su clima y ubicación geográfica. Las regiones semiáridas se caracterizan por presentar baja precipitación anual, que oscila entre los 200 y 400 mm (Kottek, Grieser, Beck, Rudolf y Rubel, 2006). Según la clasificación climática de Köppen, se consideran climas intermedios entre los desérticos y los húmedos. En México, los climas secos y muy secos se encuentran distribuidos en la mayor parte del centro y norte

del país, región que comprende el 49% del territorio nacional (SMN, 2010). El estado de Baja California se caracteriza por tener un clima semiárido con baja disponibilidad hidráulica superficial; por lo tanto, el desarrollo económico de la región depende de la disponibilidad de agua subterránea (del Toro-Guerrero, Kretzschmar, y Hinojosa-Corona, 2014).

### **Humedad del suelo**

La humedad, es el contenido de agua en el suelo, la humedad puede ser volumétrica o gravimétrica, es necesario considerar los valores de la humedad en términos de capacidad de campo y punto de marchitamiento, la capacidad de campo es la humedad ideal, ya que crea condiciones de un equilibrio de presiones tanto de la matriz solida del suelo con el sistema radicular, haciendo que la absorción tenga las suficientes facilidades. El punto de marchitamiento, es un valor de humedad por debajo de la capacidad de campo en donde la presión de las partículas del suelo es mayor al sistema radicular, por lo tanto, la absorción tiene serias complicaciones, que incluso pueden desencadenar en un punto de marchitez permanente con consecuencias de deshidratación del vegetal de forma irreversible (Fuentes, 1996).

El uso indiscriminado de labores de mecanización, ha llevado al desarrollo de capas superficiales altamente compactadas las cuales coinciden con la zona de mayor desarrollo radical para la mayoría de los cultivos. Esta situación genera un descenso en la permeabilidad del suelo al agua y al aire, así como también, una alta resistencia a la penetración, lo que origina una inhibición del crecimiento radical de las plantas que allí se establezcan ( Florentino, 1989 y Pla, 1990).

La agricultura en general y la agricultura de riego en particular son actividades que han cambiado de modo significativo el paisaje de nuestro planeta y alterado muchos de los delicados ecosistemas que existían antes del aceleramiento del desarrollo humano que ocurre en los últimos 200 a 250 años, periodo por completo insignificante, comparado con la edad estimada de la Tierra. Sin embargo, el desarrollo de las comunidades, comunicaciones, industria, y consiguiente generación de energía y agricultura, en particular la altamente tecnificada y de riego alcanzan un crecimiento de características exponenciales en los últimos 100 o 150 años, de los cuales los últimos decenios son los más preocupantes. Aparejado con este crecimiento exponencial, ha aparecido una serie de problemas que ponen en peligro tal crecimiento y requieren ser analizados con sumo cuidado. Uno de estos

problemas se refiere a la sobreexplotación de acuíferos, que involucra tanto a usuarios agrícolas como industriales y urbanos (Palacios-Vélez et al., 2016).

### **Evapotranspiración**

Es la pérdida de agua por evaporación y transpiración, sus valores son los referenciales para el cálculo de los requerimientos hídricos de los cultivos, la forma de la determinación este fenómeno tiene una complejidad en sus procedimientos y fundamentalmente se basa en la recolección de datos meteorológicos de la zona de determinación (Fuentes, 1996).

Existe una gran complejidad en la determinación de la evapotranspiración por lo que la necesidad de riego merece un estudio profundo de la meteorología para estimar la demanda de riego, el problema inicial más importante para el proyectista de sistemas de riego es calcular el gasto de agua para cualquier tramo de la red de distribución. La oficina de reclamación Americana recomienda determinar la capacidad para cada zona en particular ya que la estimación de las demandas de riego depende en gran parte de la evapotranspiración de los cultivos (ETc), en condiciones no limitantes, dado un plan de cultivos. La ETc con fines de planeación es estimada por la siguiente ecuación: donde: Kc es el coeficiente de cultivo promedio en función del tipo y etapa de cultivo ETo es la evapotranspiración del cultivo de referencia Para determinar la evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo) con fines de planeación de zonas de riego, se utilizaban principalmente el método de BlaneyCriddle, el método de Thornthwaite y el método del tanque evaporímetro usando datos climáticos monitoreados por estaciones meteorológicas. Con la instalación masiva de estaciones meteorológicas automatizadas, la disponibilidad y oportunidad de datos por períodos largos ha mejorado en las zonas de riego, lo anterior propicia el uso de métodos más robustos para estimar la evapotranspiración de referencia, actualmente el método más recomendable para estimarla es el de Penman-Monteith modificado por FAO (FAO-PM) (1) (Íñiguez-Covarrubias, Ojeda-Bustamante, y Rojano-Aguilar, 2011).

### **Requerimiento hídrico del cultivo de la papa**

En el Perú se impulsó un trabajo de investigación que tuvo como problemática conocer la variación de la evapotranspiración de los cultivos papa, quinua y alfalfa durante su periodo vegetativo en la cuenca del lago Titicaca; los objetivos específicos son: a) Determinar la evapotranspiración de referencia (ETo) mediante los métodos indirectos Penman Monteith y tanque clase A y b) Determinar la evapotranspiración real (ETc) de los cultivos papa, quinua y alfalfa considerando los coeficientes de cultivo y la evapotranspiración de

referencia; la metodología utilizado es: a) información meteorológica de temperatura máxima, temperatura mínima, humedad relativa, velocidad del viento, insolación y evaporación, b) determinación de la evapotranspiración de referencia mediante los métodos de Penman Monteith y tanque evaporímetro clase A, c) Determinación de los coeficientes de los cultivos papa, quinua y alfalfa siguiendo la metodología de la FAO y d) Determinación de la evapotranspiración real de los cultivos papa, quinua y alfalfa. Los resultados de ETo por el método Penman Monteith son: 105,05; 94,78; 101,50; 98,37, 96.70; 87,10; 92,82; 104,73; 113,99; 126,02; 124,54; 117,26 y por método tanque evaporímetro clase A es: 101,99; 91,50; 97,41; 94,96; 95,69; 88,46; 93,20; 105,03; 113,77; 124,98; 124,41;115,56 para los meses de enero a diciembre de ambos métodos. La evapotranspiración del cultivo de papa para un periodo vegetativo de 150 días, varía de 351,1 a 599,6 mm mediante el método de Penman Monteith y mediante el método tanque clase A varia de 270,7 a 542,1 mm (Charaja Villalta, 2017).

La Universidad La Molina del Perú ha realizado investigaciones en torno a la evapotranspiración para la programación de riego en papa y uno de ello es el efecto del clima en la evapotranspiración y rendimiento del cultivo de papa variedad “Única”, Con la información obtenida se proyectó la evapotranspiración usando la ecuación de Hargreaves calibrada para condiciones de La Molina y los rendimientos usando el modelo agrometeorológico AquaCROP calibrado, finalmente las proyecciones fueron comparadas con registros históricos. Con respecto a la evapotranspiración, se determinó que entre los meses de enero a mayo dicha variable sufre ligeras variaciones, por otro lado entre los meses de mayo a diciembre se encuentran incrementos de hasta 50,74%, dichos incrementos llevaron a obtener valores promedio anual que varían en un rango de 1276,2 a 1394,7 mm. Con respecto a los rendimientos, se encontraron años en los cuales la precipitación estaría regulando el déficit hídrico producido por el incremento de la evapotranspiración, también se encontraron años en los que el cultivo sufre estrés hídrico, lo cual se traduce en un menor rendimiento. Debido a esto se optó por aumentar la lámina de riego actual en  $500\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$ , con este incremento se logra reducir el estrés hídrico y a aumentar los rendimientos más bajos (Paz y Matías, 2016).

Otra gran investigación se dio mediante experimentaciones de campo en el ICA-Tibaitatá se determinó la evapotranspiración real de las variedades de papa (*Solanum tubersum*,l.): Parda Pastusa, ICA Puracé, ICA San Jorge e ICA Tequendama, en los diferentes niveles de agua proporcionados por el gradiente bajo aspersion; se estimaron los requerimientos de riego en

tales variedades, bajo agotamiento del 50 por ciento de humedad en el suelo. Se determinaron las relaciones entre evapotranspiración, riego y rendimiento; el efecto del gradiente sobre la calidad y el tamaño de los tubérculos. Todo esto con el objeto de obtener guías preliminares para el manejo del agua en el cultivo, en la Sabana de Bogotá. La función determinada entre rendimiento y evapotranspiración fue de tipo lineal. La respuesta del rendimiento al riego fue una función de tipo cuadrático. Las mayores producciones se obtuvieron con 373,2 y 384,2 mm de evapotranspiración real y con láminas totales de riego y precipitación de 446,8 y 448,5 mm para las variedades Pastusa y Puracé respectivamente, en tanto que para San Jorge y Tequendama las más altas producciones correspondieron a 406,6 mm de evapotranspiración real y 473,4 mm de agua total. El estrés de humedad en el suelo favorece la formación de tubérculos de menor tamaño de acuerdo con los resultados obtenidos, sin embargo no se observó efecto del nivel de humedad en el suelo sobre la calidad de los tubérculos.

### **Requerimiento hídrico del cultivo del haba**

Existen investigaciones acerca de la evapotranspiración del haba como el que se realizó en la Comunidad Huancapampa del Municipio de Palca del Departamento de La Paz en la gestión agrícola (Apaza y Antonio, 2018), la alteración de las condiciones climáticas que se están presentando en la comunidad en consecuencia la disminución del caudal del agua empleado para el riego. La presente investigación consistió en proponer variables de proyecto (caudal y tiempo de riego) adecuados o ideales para un riego completo para los cultivos haba (*Vicia faba* L.) y arveja (*Pisum sativum* L.). Se realizó la evaluación del riego por surcos in situ dividiendo la longitud total del surco (62,5 m haba y 45,6 m arveja) en 6 estaciones equidistantes, en la parcela de la haba fue de 12,5 m y en el de la arveja fue de 9,12 m en las cuales se registró los tiempos de avance y recesión en cada estación, al inicio y al final del surco se empotraron dos aforadores RBC con las cuales se determinó los caudales de ingreso y salida respectivamente, los tiempos de riego fueron 50 minutos para la haba y 45 minutos para arveja, con un perfilómetro se determinó la sección transversal del surco perpendicular al flujo, en función a estas variables se determinó los parámetros de evaluación, eficiencia de aplicación como se realizó 3 evaluaciones los módulos fueron 79,07; 74,89 y 72,14% respectivamente en el cultivo de la haba y (57,74; 59,44 y 51,79) % en el cultivo de la arveja, índice de escorrentía (20,26; 20,98 y 17,95) % para la haba y (22,42; 19,92 y 17,84) % para la arveja e índice de percolación (0,67; 4,12 y 9,91) % para la haba y (19,85; 20,64 y 30,36) % para la arveja. La evaluación también se la realizó con el

programa winSRFR que es un software que evalúa y simula el riego por superficie, los datos de entrada de este programa son los obtenidos de la evaluación en campo y nos proporciona los parámetros de evaluación del riego eficiencia de aplicación 78, 73 y 72 % , índice de escurrimiento 12, 12 y 9 % e índice de percolación (10, 15 y 19) % en el cultivo de la haba y eficiencia de aplicación (58, 59 y 51) % , índice de escurrimiento (20, 12 y 12) % e índice de percolación (22, 29 y 37) % en el cultivo de la arveja. Una vez evaluado el riego con el programa, se realizó las simulaciones haciendo variar las variables de proyecto (caudal y tiempo de riego) hasta obtener estas variables ideales que nos proporcionen eficiencias de aplicación próxima a 60 %. (Apaza y Antonio, 2018).

### **Requerimiento hídrico del cultivo del maíz**

Los trabajos de investigación en riego en el cultivo del maíz, han tenido gran trascendencia, en razón de que constituye uno de productos alimenticios importantes de la dieta humana, así el trabajo fue cuantificar las pérdidas de agua por evaporación del maíz cultivado en dos sistemas de preparación del suelo; siembra convencional y siembra directa con cobertura muerta. El mismo se desarrolló en el área experimental del Departamento de Ingeniería Rural de la Universidad Federal de Santa María, RS- Brasil, en el período noviembre-diciembre del 2006, desde la siembra del maíz hasta que el índice de área foliar alcanzó el valor de 2,7. La humedad del suelo se midió con TDR en las profundidades de 0-10 y 10-30 cm. Se evaluaron tres niveles de cobertura muerta con cero labranza y un cuarto tratamiento de preparación de suelo convencional sin cobertura muerta. Los resultados demuestran un ahorro de agua del orden del 40% cuando se usa siembra directa con cobertura muerta (Gomes de Andrade et al., 2011).

Los resultados de los estudios de uso de cobertura muerta en la superficie del suelo demuestran que disminuye la tasa de evapotranspiración, y siempre se espera que un mayor nivel de cobertura del suelo produzca una significativa economía en los costos de operación de los sistemas de riego (Stone y Moreira, 2000). Barros y Hanks (1993) y Moreira y Stone (1995) observaron mayor eficiencia de uso de agua en el sistema de siembra directa con cobertura muerta, en relación con otros sistemas de preparación del suelo. Luego, los parámetros de manejo de la irrigación determinados para las condiciones de preparación convencional de suelo, no siempre satisfacen las necesidades del cultivo para el manejo en condiciones de siembra directa. Bragagnolo (1990) afirma que la cobertura del suelo reduce la pérdida de agua por evaporación y disminuye las oscilaciones de la temperatura del suelo,

dependiendo de su humedad y de la insolación. El objetivo de este trabajo fue determinar la pérdida de agua del suelo por evaporación en la fase inicial de crecimiento del maíz en dos sistemas de manejo del suelo (Gomes de Andrade et al., 2011).

Otra investigación, se realiza la evaluación de un modelo de balance de agua en el suelo para el cultivo del maíz en ese trabajo se evalúa la aptitud de un modelo de balance simple para estimar el contenido de agua del suelo durante la estación de crecimiento del cultivo de maíz en Balcarce. Este modelo asume al suelo como reservorio de agua, definido entre los límites máximo y mínimo de agua disponible para las plantas. Las variables de entrada son precipitación, riego, evapotranspiración de referencia ( $ET_0$ ), coeficiente de cultivo ( $K_c$ ), profundidad del suelo, límite máximo y mínimo de almacenaje de agua y almacenaje inicial. La evapotranspiración real ( $ETR$ ) se calcula corrigiendo la  $ET_0$  por el  $K_c$  cuando el agua del suelo está fácilmente disponible. Si el suelo se seca por debajo de un umbral crítico ( $UC$ ) se considera una disminución lineal de la  $ETR$  respecto de la evapotranspiración máxima ( $ETM$ ) hasta el límite mínimo. Se prueba el modelo empleando dos niveles de almacenaje al límite máximo (360 y 300 mm  $m^{-1}$ ) y seis umbrales críticos expresados como fracción de agua disponible (0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9 y 1,0). Se comparan los valores estimados de agua en el suelo con los medidos a campo en dos campañas agrícolas (2000-01 y 2001-02) y dos situaciones hídricas, riego y secano. Los resultados muestran un adecuado comportamiento del modelo cuando se emplean 360 mm  $m^{-1}$  de límite máximo y un umbral crítico de 0,8 del agua disponible. Asimismo, se detecta su mejor performance para simular el agua en el suelo bajo condiciones de secano. Bajo riego se producen mayores excesos de agua que explican gran parte de los errores de estimación. Dado que el modelo no contempla pérdidas por escurrimiento es de esperar que mejoren sus estimaciones si se corrige la precipitación total por la que efectivamente ingresa al suelo (Magionarra, 2003).

La evapotranspiración cuyo valor referencial es para el cálculo de los requerimientos hídricos, se estableció un trabajo de investigación denominado Desarrollo y validación de un modelo del sistema suelo, agua y atmosfera para la estimación de la evapotranspiración real del cultivo del maíz. En donde el maíz es uno de los cultivos agrícolas de mayor área sembrada y volumen de producción a nivel mundial. La creciente demanda de alimentos y una amplia diversidad de usos en la industria impulsan continuamente el aumento del consumo y la producción. Factores meteorológicos definen su rendimiento potencial, mientras que otros, como la disponibilidad de agua, pueden limitar la expresión de dicha



potencialidad. Tal es así que existe una estrecha relación entre el rendimiento y el agua consumida, cuantificada a través de la evapotranspiración (ET) acumulada a lo largo del ciclo del cultivo. Debido al alto costo de instalación y a las dificultades de operación que tiene el instrumental para medir directamente la ET, se recurre generalmente a su estimación indirecta mediante modelos con distinto grado de complejidad. En este trabajo se desarrolla un modelo físico-matemático del sistema suelo planta-atmósfera que permite extender la aplicabilidad de los modelos micrometeorológicos de ET existentes a condiciones no potenciales. Para ello se diseñaron y realizaron dos campañas de medición a campo en la localidad de Balcarce, provincia de Buenos Aires, en las que un cultivo de maíz fue sometido a tratamientos para simular condiciones de deficiencia hídrica en distintas etapas del ciclo del cultivo. Los datos de la primera campaña se utilizaron para el desarrollo de un módulo para simular el flujo de agua en el suelo y su acople a un modelo micrometeorológico de ET. Los datos de la segunda campaña se utilizaron para validar el modelo acoplado, obteniendo resultados ampliamente satisfactorios según (Serio, 2015).

La comparación de métodos para la determinación de la evapotranspiración en el cultivo del maíz fue elemento de investigación en Montecillo, México, el trabajo tuvo el propósito de estudiar cuáles métodos micrometeorológicos estiman mejor la evapotranspiración (ET) en tiempo real para el cultivo de maíz (*Zea mays* L.), se compararon los métodos Thornthwaite–Holzman, Aerodinámico, Balance de energía (Relación de Bowen), Sistema de Bowen y Penman–Monteith, con la evapotranspiración medida en el lisímetro de pesada como referencia. El estudio se realizó en el lote experimental del Colegio de Postgraduados donde se localiza la estación agrometeorológica. Para el registro de las variables meteorológicas utilizadas por cada uno de los métodos antes indicados, se instalaron dos estaciones automatizadas colocadas a 5 m del lisímetro de pesada en los lados este y oeste. Las mismas se equiparon con sensores de humedad, temperatura y velocidad del viento a 1,5 y 2,5 m de altura por arriba del nivel del suelo, quedando el más bajo a 0,25 m por encima del nivel del dosel del cultivo de maíz. Para estimar la temperatura del suelo se midió a 0,02 y 0,12 m de profundidad con los geotermómetros de la estación CR10, y con los geotermómetros del Sistema de Bowen se midió a 0,02; 0,06 y 0,08 m de profundidad. Ambas estaciones se programaron para registrar el promedio de las variables meteorológicas cada 20 minutos. Se hizo la comparación del cálculo de la evapotranspiración acumulada para cada día por los métodos indicados, con respecto a la medida en el lisímetro de pesada, la cual se utilizó

como referencia. Los resultados indican que la evapotranspiración calculada por el método de Penman-Monteith, el Balance de energía y la medida. (Peña, Chávez y Nolasco, 2001).

### **Requerimiento hídrico de la avena forrajera**

En Titicaca Peruano se realizó el análisis de la evapotranspiración potencial en función de elementos climáticos, el cual tuvo como objetivos: La determinación de una ecuación regional de la evapotranspiración potencial (Evp) con el método del tanque evaporímetro, calculando el valor del coeficiente(s) del tanque evaporímetro “K(s)”, de tal forma se calcule con mayor precisión, facilidad y a menor costo la descripción del comportamiento de la evapotranspiración potencial de dicha zona. Para tal fin se utilizó la información de las estaciones meteorológicas del SENAMHI de Puno, Huancané, Juli y Desaguadero. Se tomó los promedios mensuales de los elementos climáticos: Temperatura máxima, mínima, humedad relativa, velocidad del viento, horas de sol y evaporación (Ev) de todos los meses de los años 1981 al 2007. Se determinó la evapotranspiración potencial por el método de Penman Monteith actualizado que es el método de mayor precisión, el cual se comparó con la evaporación y posteriormente se determinó K, para cada estación, mes y año respectivo. Del anterior análisis diremos que para cada estación K, es el promedio de los valores de los Ks de los periodos señalados anteriormente, correspondiendo para Puno 0,78, Huancané 0,85, Juli 0,79 y Desaguadero 0,79. Por lo tanto para la zona circunlacustre K es 0,80, este valor se encuentra dentro de los rangos de K establecidos que varía de 0,40 a 0,85, entonces la ecuación regional que describe la evapotranspiración potencial de la zona circunlacustre es  $Evp = 0,80 * Ev$  (Cruz, 2013).

El modelo para la programación de riego para avena, se hace presente en una investigación, tomando en cuenta que la avena como forraje es un cultivo de riego importante para la industria pecuaria en zonas áridas y semiáridas. Sin embargo, hay poca información sobre la relación del rendimiento de materia seca con la evapotranspiración real del cultivo o demanda hídrica, por lo que el objetivo del estudio fue generar modelos para describir el rendimiento de forraje y la productividad del agua al variar el aporte de agua de riego. Al aplicar 610,13 mm se logró el máximo ( $P < 0,05$ ) rendimiento ( $12,78 \text{ t ha}^{-1}$ ) y la máxima ( $P < 0,05$ ) eficiencia del uso del agua ( $2,36 \text{ kg de forraje m}^{-3}$ ) fue al aplicar 463,64 mm y con rendimiento de  $11,22 \text{ t ha}^{-1}$ , cosechando a grano lechoso-masoso (155 días después de la siembra o 1 291,5 grados días de desarrollo). El modelo cúbico ajustó mejor las características del cultivo y los efectos promedios de la evaporación del suelo (Kc) en

función de los grados días de desarrollo. Con dichos modelos y la evapotranspiración potencial, es posible representar la demanda hídrica diaria del cultivo con un modelo matemático y concluir, que la demanda máxima es de 7,15 mm día<sup>-1</sup> y la demanda óptima sin poner en riesgo el rendimiento es de 5,8 mm día<sup>-1</sup>. Estos modelos constituyen una herramienta útil para optimizar la producción de forraje con avena de riego con base en la aplicación oportuna y cantidad adecuada de agua de riego (Servin Palestina et al., 2018).

### **Evapotranspiración en función a las condiciones de suelo**

Existen algunos trabajos de investigación y uno de ellos plantea que la humedad del suelo es una variable fundamental en términos agronómicos y en el manejo de recursos naturales, usualmente estimada de manera puntual. Para su caracterización espacial, en los últimos años se han desarrollado varias técnicas que incluyen herramientas de SIG y percepción remota como insumos. En particular, se ha demostrado que la evapotranspiración diaria representa un buen descriptor de variaciones espaciales del agua intercambiada con la atmósfera, el objetivo de este estudio fue determinar las relaciones entre y la Humedad Aprovechable en distintas zonas topográficas de una cuenca árida en la Región de Coquimbo. Se obtuvieron mediciones de variables texturales y de humedad del suelo en 30 ubicaciones, y se analizaron las relaciones entre y la humedad, topografía vs humedad y vs texturas y finalmente entre y humedad en zonas topográficas distintas, evaluando las relaciones en forma separada, de las variables topográficas simples, la pendiente explica 29% del contenido de agua en el suelo y (índice de posición topográfica derivado del DEM) a 5000 metros explica un 20%, el mismo explica un 14% de y 36% del porcentaje de limo. El índice de geoforma muestra resultados prometedores en la descripción de texturas el análisis segmentado por criterios topográficos, sin embargo se hace hincapié a considerar que las clasificaciones topográficas dependen mucho de los parámetros con que opera el algoritmo, y no existe un único criterio de clasificación, se concluye que la registrada posterior a eventos pluviométricos del año 2003 posee relación significativa con la capacidad de almacenamiento hídrico del suelo en zonas de pendientes medias en la cuenca de Las Cardas (Muñoz Toro, 2013).

En un trabajo investigativo, los autores, concluyen que en el 2003 Komatsu caracterizó la evaporación relativa de una superficie ( $\beta$ ) por una función del contenido volumétrico de agua promedio en el suelo. En este trabajo se propuso una metodología simple que sugiere la obtención de dicho parámetro de Komatsu con información de HS de microondas pasivas. Con esta nueva formulación  $\beta$  puede ser bien aproximada con datos de una única variable

(HSSat) que resume el tipo de suelo y redonda del conocimiento del efecto de la velocidad del viento. Desde el punto de vista del sensoramiento remoto, esto puede ser de gran ventaja debido a que el viento no es una variable fácil de monitorear como, por ejemplo, la temperatura o la cobertura vegetal la superficie (Walker, Venturini, y García, 2018).

Un método que se usa comúnmente para determinar cuándo regar es monitorear la disminución de agua en el suelo. Cuando una planta crece, utiliza el agua del suelo alrededor de su zona de raíces. A medida que las plantas utilizan el agua, la humedad en el suelo baja hasta un nivel en el cual se requiere aplicar un riego. Si no se aplica agua, la planta continuará haciendo uso de la poca humedad que queda hasta que finalmente utilice toda el agua disponible en el suelo y muera de sed. Cuando el perfil del suelo está lleno de agua y alcanza lo que se llama capacidad de campo (CC), En el punto de capacidad de campo, cuando existe una tensión de solo 0.1 bar, el agua no es retenida fuertemente por las partículas del suelo y es fácil para las plantas extraer el agua. A medida que las plantas agotan el agua, la tensión en el suelo aumenta. Una vez que el suelo se seca hasta llegar al PMP, las plantas ya no pueden seguir extrayendo agua del suelo y mueren de sed. Aunque por debajo del PMP todavía hay un poco de humedad, esta agua está retenida tan fuertemente por las partículas del suelo que las raíces de la planta no pueden extraerla. Dependiendo del tipo de planta y del tipo de suelo, el PMP ocurre a diferentes niveles de humedad. En la mayoría de los cultivos agronómicos, el PMP se presenta cuando la tensión en el suelo es de 15 bares. Esto significa que el suelo está reteniendo el agua en sus poros con tanta fuerza que para que las plantas puedan utilizar esta agua, el agua disponible para la planta (ADP) es la diferencia en contenido de humedad entre la capacidad de campo y el punto de marchitamiento permanente (Martin, 2017).

Bajo este mismo aspecto, la condición de textura del suelo también implica rendimientos de los cultivo, en este caso la condición arenosa tiene ver con la dinámica del agua para la planta, quizá esta textura sea con alta cantidad de agua en razón de las perdidas por lixiviación, escurrimiento por la cantidad de poros que presenta, así se presenta un trabajo titulado Rendimiento del cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) (Amaranthaceae), desarrollado en cuatro densidades de siembra bajo condiciones de suelo arenoso, y con el cultivar Salcedo INIA tuvo como objetivo contribuir al entendimiento sobre los efectos de la densidad poblacional, siendo de 300, 400, 500 y 600 mil plantas ha<sup>-1</sup> evaluando el rendimiento de kg. ha<sup>-1</sup> y otros parámetros relacionados, basándonos en los resultados obtenidos, la altura de plantas y número de panojas se asocian negativamente con el aumento

de densidad; el tamaño de panojas y diámetro de tallo muestran una correlación positiva al disminuir la densidad mostrando estos parámetros diferencias significativas; el tamaño de grano y peso de 1000 granos no mostraron diferencias significativas. La posible explicación para estos dos parámetros es que predominan las características genéticas. En cuanto al rendimiento de  $\text{kg ha}^{-1}$  sí hubo diferencias significativas, donde los mejores resultados se obtuvieron con densidades entre 400 y 500 mil plantas  $\text{ha}^{-1}$ . La posible explicación para estos resultados con el cultivar salcedo INIA y bajo condiciones de suelo arenoso es que, en el cultivo de quinua sí hay competencia de agua, luz y nutrientes; donde a mayor densidad hay una respuesta negativa del rendimiento, y por el contrario a menor densidad no hay suficiente producción de granos para llegar a máximo rendimiento de  $\text{kg ha}^{-1}$  (Rosas Tomás, 2019).

## CAPITULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

### 3.1 LOCALIZACIÓN

La presente investigación, se llevó a cabo en el sector Nororiente de la parroquia Aláquez, cantón Latacunga, Provincia de Cotopaxi, que abarca a los barrios: San Marcos, San Antonio, El Banco, El tejar, Chitan, Verde cocha y Cuchitingue. La temperatura promedio de la zona es de 14 grados centígrados, con altitud desde los 2800 a 3700 m.s.n.m.

Constituye una zona eminentemente agrícola, cuyos productos agrícolas en orden de prioridad es: papa, haba, maíz y pastos entre ellos destaca la avena, mencionando como el pasto de mayor utilización, ya que población del sector ha incursionada en la producción de leche con relativo éxito.

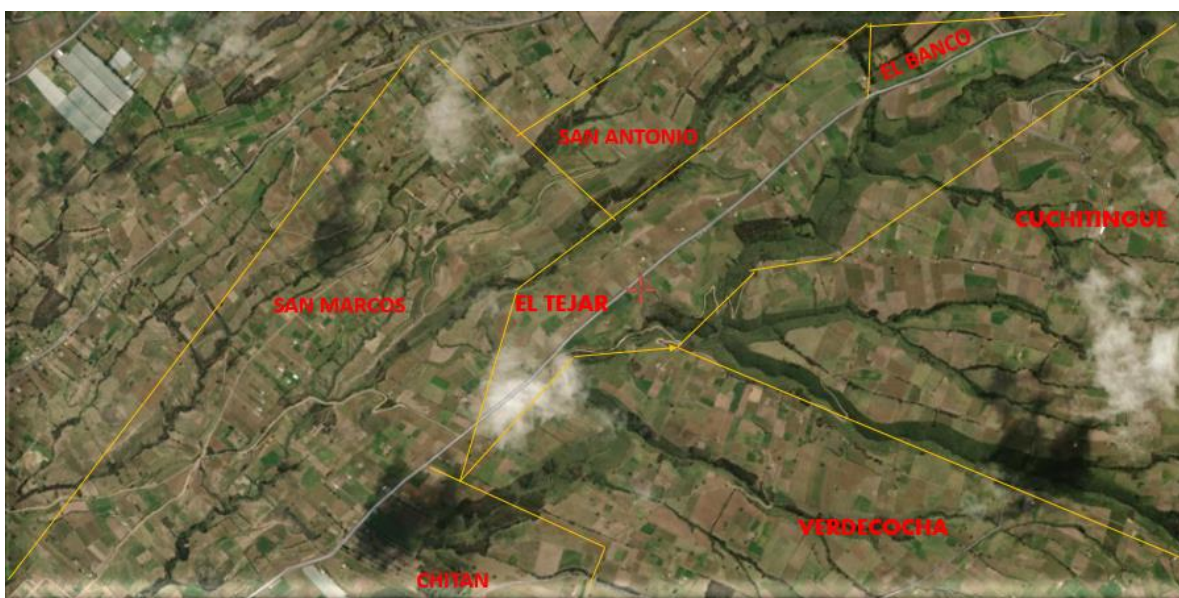


Figura 1. Mapa satelital de la zona de influencia de la investigación  
<https://satellites.pro/mapa-de-latacunga#-0.855507,-78.536668,15>

### 3.2 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

La operacionalización de las variables es la dinámica de producir causa en las independientes y establecer los efectos en las dependientes. Las variables independientes serán analizadas con el método de Blaney – Criddle para la determinación de la evapotranspiración de referencia; con la valoración se calculó la evapotranspiración de cultivo, el requerimiento hídrico y el riego.

## Variables

### Variable Independiente:

Temperatura media mensual (°C)

Pluviometría (mm)

Velocidad de viento (m/s)

Heliofanía (horas)

Humedad relativa mínima (%)

Evapotranspiración de referencia de Blaney – Criddle (mm)

### Variable Dependiente:

Evapotranspiración del cultivo ETc

Requerimiento hídrico

Lámina de riego aplicarse en los cultivos: papa, haba, maíz, avena en función al método de riego.

La Tabla 1. Muestra el procedimiento de las variables analizadas en la investigación, mediante los datos, procedimiento, resultados y comparación.

Tabla 1. OPERACIONIZACION DE LAS VARIABLES

Datos	Procedimiento	Resultados	Comparación
Datos meteorológicos de la zona tomados de las estaciones: <ul style="list-style-type: none"><li>- Rumipamba</li><li>- Universidad Técnica de Cotopaxi</li><li>- Cotopaxi</li></ul> Los valores promedios mensuales son: <ul style="list-style-type: none"><li>- Temperatura promedio mensual</li><li>- Pluviometría mensual</li></ul>	Los datos meteorológicos fueron promediados mensualmente mediante la media aritmética de los años que presenta la estación. Con esos valores se determinó los promedios de las tres estaciones, con los cuales se realizan los cálculos correspondientes. Los datos promedios de las tres estaciones en función a los	Con la aplicación del método de Blaney – Criddle, se calculó la evapotranspiración de referencia (ETr) de cada uno de los meses del ciclo de cultivo. Con los valores de (ETr) y con los valores del coeficiente del cultivo (Kc) se determinó la evapotranspiración de cultivo (ETc).	Los resultados del requerimiento hídrico son comparados con la pluviometría de ese período, a efectos de determinar si hay déficit o superávit de agua, con ello verificando si hay riego o no.

- 
- |                           |   |  |
|---------------------------|---|--|
| - Velocidad de viento     | de calendarios de siembra, fueron                               | de La sumatoria de las ETc de los                  |
| - Heliofanía              | analizados por el   | meses del período                                  |
| - Humedad relativa mínima | método de Blaney – Criddle, para la determinación de ETr y ETc. | del cultivo se considera el requerimiento hídrico. |
- 

### **3.3 TIPO DE INVESTIGACIÓN**

La presente investigación, es descriptiva, documental, en donde se determinó mediante información secundaria el comportamiento de los diferentes factores climatológicos reinantes de la zona, valores tabulares y constantes de cálculo de la región los mismos que en aplicación con el modelo de Blaney - Criddle permitieron la determinación de la evapotranspiración real y de cultivo, inicio fundamental para el cálculo de los requerimientos hídricos de los cultivos de la investigación.

### **3.4 MÉTODO DE INVESTIGACIÓN**

Se realizó un análisis histórico tendencial, que permitió establecer los valores normales del comportamiento de los elementos climáticos en la zona, lo cuales dio como resultados los regímenes de temperaturas promedio mensual, pluviometría mensual, vientos con sus velocidades mensuales, heliofanía y humedad relativa mínima.

Los elementos de ubicación geográfica, altitud y los otros factores tabulares, también fueron ubicados en función al requerimiento del método de Blaney - Criddle.

La modelación está presente en los cálculos, en la utilización de fórmulas o ecuaciones empíricas para la determinación la evapotranspiración de referencia y de cultivo, como base de las necesidades hídricas de los cultivos.

El método sistemático, tuvo como función ir identificando un flujo del procedimiento de cálculo. La observación, permitió contrastar la información secundaria documental, con una información primaria.



## 3.5 TRATAMIENTO DE DATOS

### Recogimiento de Datos

Los datos climatológicos de influencia en la zona, fueron tomados de tres estaciones meteorológicas:

- Estación Rumipamba:            Latitud  $1^{\circ} 1' 32''$  s Longitud  $78^{\circ} 35' 41''$  w
- Estación UTC:                    Latitud  $0^{\circ} 59' 57''$  s Longitud  $78^{\circ} 37' 14''$  w
- Estación Cotopaxi:            Latitud  $0^{\circ} 37' 24''$  s Longitud  $78^{\circ} 34' 53''$  w

Valores tabulares y constantes de cálculo, se recogieron de fuentes bibliográficas de riego (Fuentes, 1996).

Los valores de los datos climáticos fueron tomados bajo el concepto de valores normales en función a los años de la información en las tres estaciones, los valores son mensuales. Figura 2.

Las estaciones meteorológicas de la zona de influencia asignan valores de los datos climáticos en periodos que son considerados como valores normales.

- Estación Rumipamba : 1990 – 2010
- Estación UTC: 2013 – 2018
- Estación Cotopaxi: 1990 – 1993; 1999 – 2003 ; 2007 - 2013

Los calendarios de siembra se establecieron por las tradiciones del sector, sin embargo la forma de cálculo es versátil para cualquier periodo.

Las fechas de los calendarios de siembra se normalizaron con la duración del cultivo, a efectos de disponer el ciclo para el cálculo.

### Relación matemática del método Blaney - Criddle

$$f = p (0,46 t + 8,13) \dots \dots \dots (1)$$

En donde:

f = factor Blaney – Criddle, expresados en mm

p = Porcentaje de horas diarias, valor tabular en función a la latitud (Anexo 1).

t = Temperatura media mensual (°C)

### **Ajuste del cálculo**

Se tomó como referencia a Fuentes (1996)

Donde se utiliza los siguientes parámetros

#### **Relación n/N**

La letra **n** constituye un valor de la Heliofanía en la región, en el caso de Ecuador se entiende a 12 horas, sin embargo en algunas estaciones meteorológicas si lo tienen ubicado este valor, como es el caso de la estación UTC.

El valor de **N** es un valor tabular de las medias de insolación máxima, su valoración está en función de la latitud. (Anexo 2).

#### **Humedad relativa mínima (%)**

La consideración es la siguiente:

HRmin menor al 20% es Baja

HRmin entre 20 – 30% es Media

HRmin mayor al 50% es Alta

La metodología de Blaney – Criddle, el ajuste requiere el valor de la humedad relativa mínima a efectos de buscar el cuadrante de ajuste en función a la categoría.

#### **Velocidad del viento m/seg**

El cuadrante de ajuste tiene tres curvas en función a las velocidades de vientos.

Curva 1. 0 – 2 m/s es viento Débil

Curva 2. 2 – 5 m/s es viento Moderado

Curva 3. Mayores a 5 m/s es viento fuerte

Con estos indicadores se ajusta gráficamente el valor del factor Blaney – Criddle en eje de abscisas en cuadrante correspondiente, realizando una perpendicular hacia la curva de velocidad de viento; en ese vértice se realiza una perpendicular hacia el eje de las coordenadas en donde esta los valores de evapotranspiración. El cuadro de ajustes es Figura3.

### Calculo de la necesidad hídrica

- Le evapotranspiración de referencia se determinó mediante la fórmula de Blaney – Criddle (Ecuación 1)
- Se determinó el coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) en función a la etapa fenológica. (Anexo 5).
- Se calculó de evapotranspiración del cultivo ( $E_{tc}$ ) (Ecuación 2)  
 $E_{tc} = E_{tr} \times K_c \dots \dots \dots (2)$
- Calculo de las necesidades hídricas durante el periodo vegetativo

El Riego se basa en la relación de las necesidades hídricas y la precipitación efectiva.

$$R = NN \text{ HH} - P_e \dots \dots \dots (3)$$

La duración del cultivo, se tomó de un valor tabular. (Anexo 6).

En la Tabla 2. Se sitúan la duración del ciclo de cada cultivo, bajo las etapas fenológicas, los valore son tabulares para cada especie. (Anexo 6).

Tabla 2. Duración de los cultivos propuesto para la investigación, en días

CULTIVO	DURACION	ETAPA 1	ETAPA 2	ETAPA 3	ETAPA 4
PAPA	145	30	35	50	30
MAIZ	110	20	30	50	10
HABA	170	25	35	70	40
AVENA	150	15	30	65	40

Fuente: autor, 2020

### 3.5.2 Recursos humanos y materiales

En cuanto a los recursos humanos y actividades planificadas en la investigación se muestran en las Tabla 3.

Tabla 3. Recursos humanos del proyecto

Nomina	Nombres
Investigador	Guido Euclides Yauli Chicaiza
Director del proyecto	Dr. Javier Domínguez, PH.D
Tribunal de defensa	En consideración Institucional
Docente de la catedra de investigación	Dr. Reinaldo Alemán Pérez, PH.D
Coordinador de la Maestría	Ing. MSc. Sandra Soria
Expertos	Varios

Fuente: autor, 2020

### **3.5.3 Materiales**

- a. Libros de campo
- b. computador
- c. Esferos
- d. Impresora
- e. Bases de Datos de Estaciones Meteorológicas
- f. Base datos de requerimientos hídricos de los cultivos
- g. Métodos empíricos de cálculo de Evapotranspiración
- h. Datos de áreas de cultivos y calendarios de siembra de los importantes de la zona.

## **CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUCIÓN**

En la presentación de los resultados es pertinente indicar que la necesidad hídrica de los cultivos está fundamentada en la evapotranspiración, fenómeno que se determina con el comportamiento de los datos meteorológicos que influyen en la zona, estos datos fueron tomados de las estaciones meteorológicas: Rumipamba, Universidad Técnica de Cotopaxi, estación Cotopaxi.

Los datos climáticos fueron: temperatura promedio mensual, precipitación, velocidad de viento, heliofanía y humedad relativa mínima. El concepto de reclutamiento fue en base a los valores normales de cada una de ellas, por tanto de cada estación se tiene valores mensuales promedios (Anexo 7).

Con los datos promedios de cada estación, se procede con la determinación de valores de las medias entre estaciones, que se serán usados en los diferentes cálculos (Anexo 8).

### **4.1 CALCULO DE LAS NECESIDADES HIDRICAS DE LOS CULTIVOS PAPA, MAIZ, HABA Y AVENA MEDIANTE EL METODO BLANEY – CRIDDLE**

Constituye un método empírico, muy utilizado en los Estados Unidos y países de América Latina, su cálculo es mensual, para la determinación requiere de temperaturas mensuales, para ajuste de manera gráfica requiere datos de heliofanía, velocidad de viento y la humedad relativa mínima.

### **4.2 DETERMINACION DEL REQUERIMIENTO HIDRICO DE LA PAPA**

#### **Datos:**

Fecha de siembra: 4 de mayo.

Latitud del sector: 0 51 98 latitud sur.

En la Tabla 4. Se ubica los valores promedios diarios, mensuales de las variables climáticas, estos valores de las tres estaciones meteorológicas según el calendario de siembra, en este caso de mayo a septiembre (Anexo 8).

Tabla 4. Valores promedios diarios mensuales de las variables climáticas de las estaciones: Rumipamba, Universidad Técnica de Cotopaxi y Cotopaxi

MES	T.PROMEDIO (°C)	PRECIPITACIÓN (mm)	VIENTO (m/s)	HELIOFANIA (horas)	HR MÍNIMA (%)
<b>Mayo</b>	12,49	111,05	8,45	12,63	64,28
<b>Junio</b>	11,93	64,57	8,03	12,40	64,41
<b>Julio</b>	11,73	36,48	8,81	12,10	60,04
<b>Agosto</b>	11,62	27,80	8,94	11,80	55,04
<b>Septiembre</b>	11,77	48,45	8,28	11,80	54,45

Fuente: autor, 2020

**a. Calculo de la evapotranspiración de referencia, mediante formula de Blaney - Criddle**

El factor de Blaney. Criddle (f) se determinó usando la ecuación 1, en cada uno de los meses que corresponde al periodo de plantación de la papa en la zona.

**Mayo**

$$f = p (0,46 t + 8,13)$$

$$f = 0,27 (0,46 \times 12,49 + 8,13)$$

$$f = 3,74 \text{ mm}$$

**Ajuste del valor de Blaney – Criddle y la Evapotranspiración**

**Mayo**

**Factor n/ N**

$$n = 12,63; N = 12,1; 12,63/12,1 = 1,04$$

n/N es mayor a 0,8

**Humedad Relativa mínima (HRmin %)**

El dato es: 64,28%, esto corresponde a HRmin ALTA

**Velocidad de viento (m/s)**

El valor de la velocidad del viento es 8,45 m/s, corresponde a viento fuerte

Para determinar la ETr, se usó la Figura 3. , en el eje de las X está ubicado el valor del factor de Blaney - Criddle, se efectúa una perpendicular hacia la curva 3 de viento fuerte, en este punto se realiza otra perpendicular hacia el eje Y en donde se sitúa los valores de ETr.

En el resultado de esa operación es 3,8, es decir que

ETr mes mayo = 3,8 mm

De igual manera se hizo para los demás meses, los valores del coeficiente de Blaney – Criddle y la evapotranspiración de referencia, se ubica en la Tabla 5.

Tabla 5. Valores calculados del coeficiente de Blaney- Criddle y evapotranspiración referencia del Nororiente de Alaquez, Ecuador, para los meses mayo a septiembre

MES	f (mm)	Etr (mm)
Mayo	3,74	3,80
Junio	3,67	3,72
Julio	3,45	3,70
Agosto	3,63	3,68
Septiembre	3,65	3,70

Fuente: autor, 2020

#### b. Determinación del coeficiente de cultivo (Kc)

Los coeficientes de cultivo utilizados para papa en cada etapa fenológica, cuyos valores son tabulares se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6. Valores del coeficiente del cultivo (Kc) en dependencia de la etapa fenológica

ETAPA FENOLOGICA	DURACION (días)	FECHAS	Kc
Establecimiento del cultivo	30	4 de mayo - 2 de junio	0,45
Desarrollo y crecimiento rápido	35	3 de junio - 7 de julio	0,75
Máxima evapotranspiración	50	8 de julio - 26 de agosto	1,15
Maduración y cosecha	30	27 agosto - 25 de septiembre	0,85
	145		

Fuente: (C. Brouwer y M. Heibloem,) (fuentes, 2016)

#### c. Calculo de evapotranspiración del cultivo (ETc)

La evapotranspiración de papa, se determina mediante la ecuación 2.

En la Tabla 7 se muestran los datos de evapotranspiración de referencia y los coeficientes de cultivos de cada etapa fenológica. Estos valores permiten el cálculo de evapotranspiración cultivo.

Tabla 7. Valores de ETc (mm)

<b>FECHAS</b>	<b>DIAS(días)</b>	<b>ETr (mm)</b>	<b>Kc</b>	<b>ETc mm- día</b>
4 mayo - 31 de mayo	28	3,80	0,45	1,71
1 junio - 2 junio	2	3,72	0,45	1,67
3 junio - 30 junio	28	3,72	0,75	2,79
1 julio - 7 julio	7	3,7	0,75	2,77
8 julio - 31 julio	24	3,7	1,15	4,25
1 agosto - 26 agosto	26	3,68	1,15	4,23
27 agosto - 31 agosto	5	3,68	0,85	3,12
1 septiembre - 25 septiembre	25	3,70	0,85	3,14

Fuente: autor, 2020

#### **d. Cálculo de las necesidades hídricas durante el periodo vegetativo**

Las necesidades hídricas por periodo y por mes del cultivo de papa, cuya relación es la necesidad hídrica están en la Tabla 8.

Tabla 8. Valores de las necesidades hídricas (mm) durante el período

<b>FECHAS</b>	<b>DIAS</b>	<b>Etc (mm – día)</b>	<b>NN.HH PERIODO (mm)</b>	<b>VALOR MES (mm)</b>	<b>MES</b>
4 mayo - 31 de mayo	28	1,71	41,88	41,88	mayo
1 junio - 2 junio	2	1,67	3,34		
3 junio - 30 junio	28	2,79	78,12	81,46	junio
1 julio - 7 julio	7	2,77	19,39		
8 julio - 31 julio	24	4,25	102	121,39	julio
1 agosto - 26 agosto	26	4,23	109,98		



27 agosto - 31 agosto	5	3,12	15,6	125,58	agosto
1 septiembre - 25 septiembre	25	3,14	78,5	78,50	septiembre
				448,81	

Fuente: autor, 2020

El requerimiento promedio del cultivo de la papa, mediante el cálculo de evapotranspiración en las condiciones del calendario de siembra planteado es de 448,81 mm, se entiende que la evapotranspiración de cultivo es la pérdida de agua por lo tanto la cantidad que debe disponer para evitar el estrés hídrico.

Las unidades de expresión de las necesidades hídricas, se basa fundamentalmente en la siguiente equivalencia:

1 mm = 1 L/m<sup>2</sup> = 10 metros m<sup>3</sup>/hectárea; entonces en el caso del cultivo de la papa se tendrá:

448,81 mm = 448,81 L/ m<sup>2</sup> = 4 488,1 metros<sup>3</sup> /hectárea

Por otro lado se analiza el régimen pluviométrico del calendario de siembra, en este caso.

El régimen pluviométrico entre mayo y septiembre, tiene una sumatoria de 288,36 mm de precipitación bruta, sin embargo se debe calcular la precipitación efectiva que es la que es aprovechada por la planta, la misma que se debe descontar un 20% que se pierde por pérdida de la lluvia bruta.

Bajo ese esquema 288,36 restando el 20% se tendrá 230,68 mm; se realiza la comparación entre las necesidades hídricas del cultivo y el régimen pluviométrico, se tendrá que 448,81 mm y los 230,68 mm de la precipitación efectiva, da un faltante de 218,13 mm que será riego.

Los valores de la precipitación de los meses del calendario de siembra y evapotranspiración del cultivo se ubican en la Tabla 9. Con estos datos se determina el balance hídrico, definiendo si hay o no riego.

Tabla 9. Tabla de balance hídrico, con valores mensuales

MES	PRECIPITACION (mm)	PRECIPITACIÓN EFECTIVA (mm)	ETc (mm)	Balance
Mayo	111,05	88,84	41,88	-46,96
Junio	64,57	51,65	81,46	29,81

Julio	36,48	29,18	121,39	92,21
Agosto	27,8	22,24	125,58	103,34
Septiembre	48,45	38,76	78,5	39,74

Fuente: autor, 2020

El Riego se calculó por la ecuación (3). La aplicación del agua está en función de las eficiencias de los métodos.

El riego, bajo la eficiencia de los métodos en el cultivo de papa indica la Tabla 10.

Tabla10. Eficiencia de los métodos de riego

<b>METODO</b>	<b>EFICIENCIA (%)</b>	<b>RIEGO (mm)</b>
Gravedad (surcos rectos)	55 - 70	316,28 – 283,56
Aspersión (climas fríos y húmedos)	80	261,75

Fuente: (García, 2011)

Con estos resultados, en primera instancia se debe validar el método de Blaney – Criddle para la determinación de la evapotranspiración de referencia, (Íñiguez-Covarrubias, Ojeda-Bustamante, y Rojano-Aguilar, 2011) plantean el método más recomendable para estimarla es el de Penman-Montieth modificado por FAO (FAO-PM) en donde uno de ellos es de Blaney – Criddle.

Los resultados obtenidos en la presente investigación para el cultivo de papa, es especial la necesidad hídrica que es de 448,81 mm, se enmarca en los valores de la investigación realizada por (Charaja Villalta, 2017), en donde la evapotranspiración de la papa en ciclo vegetativo de 150 días varía entre 351,1 a 599,6 mm, con el método de Penman Monteith, esto significa que los rangos de los requerimientos hídricos en América, se sitúan entre 300 y 600 mm.

Otra investigación efectuada en Colombia la determinación la evapotranspiración real en algunas variedades de papa, estimaron el riego, la relaciones entre la evapotranspiración, riego y rendimiento, todo esto a efectos de obtener guías de manejo de agua. Un dato importante fue que en el rendimiento y la evapotranspiración fue de tipo lineal. («Alianza SIDALC» s. f.) , además con 373,2 y 384,2 mm de evapotranspiración real se obtuvo mayor producción,

En el caso de la presente investigación si se analiza el requerimiento hídrico de 448,81mm se entiende que también tiene la posibilidad de inducir a un rendimiento lineal, en la práctica

en el cuadro del balance hídrico indica los valores referenciales de déficit o superávit de agua en cada mes del ciclo del cultivo, por lo tanto en mayo la pluviometría asumiría el requerimiento hídrico, en los demás meses necesariamente existe la necesidad de riego.

La eficiencia de riego se analiza en función al método, García (2011) plantea eficiencias de riego gravitacional y aspersión, formas en las cuales los agricultores de la zona lo realizan, se tienen los siguientes valores: el valor del riego es de 118,14 mm, en el caso de riego gravitacional con 55% de eficiencia se debe regar 171,30 mm; si la eficiencia es del 70% el riego será de 153,58 mm.

En el caso de riego por aspersión se plantea un eficiencia del 80%, lo que dará como riego de 141,76 mm.

### **4.3 DETERMINACIÓN DEL REQUERIMIENTO HIDRICO DEL CULTIVO DEL MAIZ**

**Datos:**

Fecha de siembra: 7 de septiembre.

Latitud del sector: 0 51 98 latitud sur.

En la Tabla 11. Se ubica los valores promedios diarios, mensuales de las variables climáticas, estos valores de las tres estaciones meteorológicas según el calendario de siembra, en este caso de septiembre a enero (Anexo 8).

Tabla 11. Valores promedios diarios mensuales de las variables climáticas de las estaciones: Rumipamba, Universidad Técnica de Cotopaxi y Cotopaxi

<b>MES</b>	<b>T.PROMEDIO</b> (°C)	<b>PRECIPITACIÓN</b> (mm)	<b>VIENTO</b> (m/s)	<b>HELIOFANIA</b> (horas)	<b>HR MÍNIMA</b> (%)
<b>Septiembre</b>	11,77	48,45	8,28	11,80	54,45
<b>Octubre</b>	12,81	90,94	7,32	12,10	54,92
<b>Noviembre</b>	12,82	105,51	8,70	12,06	5,68
<b>Diciembre</b>	12,81	108,08	6,70	12,16	55,47
<b>Enero</b>	12,95	68,21	7,61	12,53	58,96

Fuente: autor, 2020

**a. Calculo de la evapotranspiración de referencia, mediante formula de Blaney - Criddle**

El factor de Blaney. Criddle (f) se determinó usando la ecuación 1, en cada uno de los meses que corresponde al periodo de siembra del maíz en la zona.

**Septiembre**

$$f = p (0,46 t + 8,13)$$

$$f = 0,27 (0,46 \times 11,74 + 8,13)$$

$$f = 3,65 \text{ mm}$$

**Ajuste del valor de Blaney – Criddle y la Evapotranspiración**

**Septiembre**

**Factor n/ N**

$$n = 11,8; N = 12,1; 11,8/12,1 = 0,95$$

n/N es mayor a 0,8

**Humedad Relativa mínima (HRmin %)**

El dato es: 54,45%, esto corresponde a HRmin ALTA

**Velocidad de viento m/seg**

El dato de velocidad de viento es 8,28 m/s corresponde a viento fuerte

En la comparación gráfica, en el eje de las x está ubicado el valor del factor de Blaney-Criddle se efectúa una perpendicular hacia la curva 3 de viento fuerte, en este punto se realiza otra perpendicular hacia el eje Y en donde se sitúa los valores de ETr.

En el resultado de esa operación es 3,74 es decir que

$$ETr \text{ mes septiembre} = 3,74 \text{ mm}$$

De igual manera se hizo para los demás meses, los valores del coeficiente de Blaney – Criddle y la evapotranspiración de referencia, se ubica en la Tabla 12.

Tabla 12. Valores calculados del coeficiente de Blaney- Criddle y evapotranspiración referencia del Nororiente de Alaquez, Ecuador, para los meses septiembre a diciembre

MES	f mm	Etr mm
Septiembre	3.65	3.74
Octubre	3.78	3.87
Noviembre	3.79	3.88
Diciembre	3.78	3.87

Fuente: autor, 2020

### b. Determinación del coeficiente de cultivo (Kc)

Los coeficientes de cultivo utilizados para maíz en sus diferentes etapas fenológicas que son valores tabulares se muestran en la Tabla 13.

Tabla 13. Valores del coeficiente del cultivo (Kc) en dependencia de la etapa fenológica

ETAPA	DURACION (días)	FECHAS	Kc
Establecimiento del cultivo	20	7 septiembre - 26 septiembre	0,40
Desarrollo y crecimiento rápido	30	27 septiembre - 26 octubre	0,80
Máxima evapotranspiración	50	27 octubre - 15 diciembre	1,15
Maduración y cosecha	10	16 diciembre - 25 diciembre	1,0
	110		

Fuente: (C. Brouwer y M. Heibloem,) (Fuentes, 2016)

### c. Calculo de evapotranspiración del cultivo (ETc)

La evapotranspiración del maíz, se determina mediante la ecuación 2.

En la Tabla 14, se muestran los datos de evapotranspiración de referencia y los coeficientes de cultivos de cada etapa fenológica a efectos de la determinación de evapotranspiración del cultivo.

Tabla 14. Valores de ETc (mm)

FECHAS	DIAS	ETr (mm)	Kc	ETc (mm)
7 septiembre - 26 septiembre	20	3,74	0,40	1,49
27 septiembre - 30 septiembre	4	3,74	0,80	2,99
1 octubre - 26 octubre	26	3,87	0,80	3,09
27 octubre - 31 octubre	5	3,87	1,15	4,45
1 noviembre - 30 noviembre	30	3,88	1,15	4,46

1 diciembre - 15 diciembre	15	3,87	1,15	4,45
16 diciembre - 25 de diciembre	10	3,87	1	3,87

Fuente: autor, 2020

#### d. Calculo de las necesidades hídricas durante el periodo vegetativo

Las necesidades hídricas por periodo y por mes del cultivo del maíz, cuya relación da la necesidad hídrica están en la Tabla 15.

Tabla 15. Valores de las necesidades hídricas (mm) durante el período

FECHAS	DIAS	ETc (mm)	NN.HH PERIODO (mm)	VALOR MES (mm)	MES
7 septiembre - 26 septiembre	20	1,49	29,80		
27 septiembre - 30 septiembre	4	2,99	11,96	41,76	septiembre
1 octubre - 26 octubre	26	3,09	80,34		
27 octubre - 31 octubre	5	4,45	22,25	102,59	octubre
1 noviembre - 30 noviembre	30	4,46	133,80	133,80	noviembre
1 diciembre - 15 diciembre	15	4,45	66,75		
16 diciembre - 25 de diciembre	10	3,87	38,70	105,45	diciembre
				383,60	

Fuente: autor, 2020

En las condiciones propuestas del calendario de siembra la evapotranspiración del cultivo es de 383,6 mm, lo que corresponde a 383,6 L/m<sup>2</sup> o 3 836 m<sup>3</sup>/ha, en relación al régimen pluviométrico de los meses del calendario se tendrá la siguiente relación:

Si se analiza globalmente entre las necesidades hídricas del cultivo y el régimen pluviométrico se puede hablar de que solamente 30,61 mm faltaría, sin embargo las precipitaciones son las consideradas brutas, por lo que es indispensable la determinación de precipitación efectiva, es decir que de los 352,99 mm descontados el 20% se tiene 282,39 mm, por lo que riego sería de 101,21 mm.

Los valores de la precipitación de los meses del calendario de siembra y evapotranspiración del cultivo de maíz se ubican en la Tabla 16. Estos datos permiten establecer el balance hídrico para definir si hay o no riego.

Tabla 16. Tabla de balance hídrico, con valores mensuales

MES	PRECIPITACION	PRECIPITACIÓN	ETc (mm)	Balance
	(mm)	EFFECTIVA (mm)		
Septiembre	48,45	38,76	41,76	3
Octubre	90,94	72,75	102,59	29,84
Noviembre	105,51	84,4	133,8	49,4
Diciembre	108,08	86,46	105,45	18,99

Fuente: autor, 2020

El Riego se calculó por la ecuación (3). La aplicación del agua está en función de las eficiencias de los métodos.

El riego, bajo la eficiencia de los métodos en el cultivo del maíz indica la Tabla 17.

Tabla 17. Eficiencia de los métodos de riego

METODO	EFICIENCIA (%)	RIEGO (mm)
Gravedad (surcos rectos)	55 - 70	146,75 – 131,57
Aspersión (climas fríos y húmedos)	80	121,45

Fuente: (García, 20011)

La validación fundamental de este cultivo como parte de la investigación efectivamente radica en la importancia alimenticia que este lo posee, así en Brasil se lleva a cabo un trabajo de investigación para identificar las pérdidas de agua por evaporación en dos sistemas de preparación del suelo, en un período noviembre y diciembre, esta investigación fue realizado por (Gomes de Andrade et al., 2011), en primera instancia asigna el escogimiento del meses a la presente investigación, da una probabilidad que los calendarios de siembra se ubiquen dentro esos parámetros de tiempo y con las condiciones meteorológicas, en esta investigación nota un aspecto importante, sobre la cobertura y la perdida de agua, que de acuerdo a los resultados, los autores sostienen que la cobertura del suelo reduce la pérdida de agua por evaporación y disminuye las oscilaciones de la temperatura del suelo, dependiendo de su humedad y de la insolación, estas afirmaciones plantean que con labranzas mínimas se puede reducir la necesidad hídrica en el maíz, especialmente en la fase

inicial del cultivo, en caso de la presente investigación los valores del requerimiento hídrico en el mes de inicio es de 41,76 mm y la precipitación efectiva es de 38,76 lo que se puede hablar de una cierta igualdad por lo que hay déficit pequeño que es 3,0 mm, lo que se puede manifestar que con una cubierta de suelo adecuada no se tenga déficit y a lo mejor produzca superávit; en todo caso conociendo la necesidad hídrica y la pluviometría, se puede jugar con otros elementos de los sistemas de cultivo para reducir riegos.

La evapotranspiración, ha sido tomado como base para el cálculo de los requerimientos hídricos del maíz, así (Serio, 2015). Lidera una investigación denominada Desarrollo y validación de un modelo del sistema suelo, agua y atmósfera para la determinación de la evapotranspiración, lo que plantea validez a la presente investigación, en todo caso en el trabajo citado se desarrolló un modelo físico – matemático, para la aplicación modelos micrometeorológicos de la evapotranspiración existentes a condiciones no potenciales.

Otra investigación que avala al presente trabajo fue realizado en Montecillo, México en donde se evaluaron métodos de estimación de la evapotranspiración de referencia, bajo los complejos procesos de investigación dio como resultados que los métodos realizados por Penman–Monteith, tuvieron resultados satisfactorios. La investigación lo lideró (Peña, Chávez, y Nolasco, 2001).

En los resultados de la presente investigación, plantea que el requerimiento hídrico del cultivo de maíz es de 383,6 mm, la pluviometría efectiva es 282,9 lo cual asigna un riego de 101,21 mm, cuya aplicación está fundamentada por el cuadro de eficiencia de riego, en riegos gravitacionales 146,75 y 131,57 mm, con eficiencias de 55 y 70 %; en método de aspersión con una eficiencia del 80% se debe regar 121,45 mm.

#### **4.4 DETERMINACIÓN DEL REQUERIMIENTO HIDRICO DEL CULTIVO DEL HABA**

##### **Datos:**

Fecha de siembra: 5 de octubre.

Latitud del sector: 0 51 98 latitud sur.

En la Tabla 18. Se ubica los valores promedios diarios, mensuales de las variables climáticas, estos valores de las tres estaciones meteorológicas según el calendario de siembra, en este caso de octubre a marzo (Anexo 8).



Tabla 18. Valores promedios diarios mensuales de las variables climáticas de las estaciones: Rumipamba, Universidad Técnica de Cotopaxi y Cotopaxi

MES	T.PROMEDIO (°C)	PRECIPITACIÓN (mm)	VIENTO (m/s)	HELIOFANIA (horas)	HR MÍNIMA (%)
<b>Octubre</b>	12,81	90,94	7,32	12,10	54,92
<b>Noviembre</b>	12,82	105,51	8,70	12,06	55,68
<b>Diciembre</b>	12,81	108,08	6,70	12,16	55,47
<b>Enero</b>	12,95	68,21	7,61	12,53	58,96
<b>Febrero</b>	13,10	74,53	7,49	12,63	62,0
<b>Marzo</b>	12,78	134,01	6,39	12,70	55,98

Fuente: autor, 2020

**a. Cálculo de la evapotranspiración de referencia, mediante fórmula de Blaney - Criddle**

El factor de Blaney- Criddle (f) se determinó usando la ecuación 1, en cada uno de los meses que corresponde al periodo del cultivo del haba en la zona.

**Octubre**

$$f = 0,27 (0,46 \times 12,81 + 8,13)$$

$$f = 3,78 \text{ mm}$$

**Ajuste del valor de Blaney – Criddle y la Evapotranspiración**

**Octubre**

**Factor n/ N**

$$n = 12,1; N = 12,1; 12,1/12,1 = 1.0$$

n/N es mayor a 0,8

**Humedad Relativa mínima (%)**

El dato es: 54,92 esto corresponde a HRmin ALTA

**Velocidad del viento (m/s)**

El dato de velocidad de viento es 7,32 m/seg, corresponde a viento fuerte

En la comparación gráfica, en el eje de las X está ubicado el valor del factor de Blaney - Criddle, se efectúa una perpendicular hacia la curva 3 de viento fuerte, en este punto se realiza otra perpendicular hacia el eje Y en donde se sitúa los valores de ETo.

En el resultado de esa operación es 3,87, es decir que

$$ETr \text{ mes} = 3,87 \text{ mm}$$

De igual manera se hizo para los demás meses, los valores del coeficiente de Blaney – Criddle y la evapotranspiración de referencia, se ubica en la Tabla 19.

Tabla 19. Valores calculados del coeficiente de Blaney- Criddle y evapotranspiración referencia del Nororiente de Alaquez, Ecuador, para los meses octubre a marzo

MES	f mm	ETr mm
Octubre	3,78	3,87
Noviembre	3,79	3,88
Diciembre	3,78	3,87
Enero	3,80	3,90
Febrero	3,82	3,92
Marzo	3,78	3,87

Fuente: autor, 2020

#### b. Determinación del coeficiente de cultivo (Kc)

Los coeficientes de cultivo utilizados para haba, en sus diferentes etapas fenológicas que son valores tabulares se muestran en la Tabla 20.

Tabla 20. Valores del coeficiente del cultivo (Kc) en dependencia de la etapa fenológica

ETAPA	DURACION (días)	FECHAS	Kc
Establecimiento del cultivo	25	5 octubre - 29 octubre	0,45
Desarrollo y crecimiento rápido	35	30 octubre - 3 diciembre	0,75
Máxima evapotranspiración	70	4 diciembre - 11 febrero	1,10
Maduración y cosecha	40	12 febrero - 23 marzo	0,50
	170		

Fuente: (C. Brouwer y M. Heibloem,) (fuentes, 1996)

#### c. Calculo de evapotranspiración del cultivo (Etc)

La evapotranspiración del haba, se determina mediante la ecuación 2.

En la Tabla 21, se muestran los datos de evapotranspiración de referencia y los coeficientes de cultivos de cada etapa fenológica, con estos valores se determina evapotranspiración de cultivo.

Tabla 21. Valores de Etc (mm)

<b>FECHAS</b>	<b>DIAS</b>	<b>ETr (mm)</b>	<b>Kc</b>	<b>ETc (mm)</b>
5 octubre - 29 octubre	25	3,87	0,45	1,74
30 octubre - 31 octubre	2	3,87	0,75	2,90
1 noviembre - 30 noviembre	30	3,88	0,75	2,91
1 diciembre - 3 diciembre	3	3,87	0,75	2,90
4 diciembre - 31 diciembre	28	3,87	1,10	4,25
1 enero - 31 enero	31	3,90	1,10	4,29
1 febrero - 11 febrero	11	3,92	1,10	4,31
12 febrero - 29 febrero	17	3,92	0,50	1,96
1 marzo - 23 marzo	23	3,87	0,50	1,93

Fuente: autor 2020

#### **d. Calculo de las necesidades hídricas durante el periodo vegetativo**

Las necesidades hídricas por periodo y por mes del cultivo del haba cuya relación da la necesidad hídrica están en la Tabla 22.

Tabla 22. Valores de las necesidades hídricas (mm) durante el período

<b>FECHAS</b>	<b>DIAS</b>	<b>ETc (mm)</b>	<b>NN.HH PERIODO (mm)</b>	<b>VALOR MES (mm)</b>	<b>MES</b>
5 octubre - 29 octubre	25	1,74	43,50		
30 octubre - 31 octubre	2	2,90	5,80	49,30	octubre
1 noviembre - 30 noviembre	30	2,91	87,30	87,30	noviembre
1 diciembre - 3 diciembre	3	2,90	8,70		

4 diciembre - 31 diciembre	28	4,25	119	127,70	diciembre
1 enero - 31 enero	31	4,29	132,99	132,99	enero
1 febrero - 11 febrero	11	4,31	47,41		
12 febrero - 29 febrero	17	1,96	33,32	80,73	febrero
1 marzo - 23 marzo	23	1,93	44,39	44,39	marzo
				522,41	

Fuente: autor, 2020

La necesidad o requerimiento hídrico del cultivo del haba es de 522,41 mm, encuadrado en el calendario de siembra planteado, cuya relación de equivalencias será: 522,41 L/m<sup>2</sup> y 522,41 m<sup>3</sup>/ha.

Los valores de la precipitación de los meses del calendario de siembra y evapotranspiración del cultivo se ubican en la Tabla 23. Estos datos permiten calcular el balance hídrico determinado si hay o no riego.

Tabla 23. Tabla de balance hídrico, con valores mensuales

MES	PRECIPITACION (mm)	PRECIPITACIÓN EFECTIVA (mm)	ETc (mm)	Balance
Octubre	90,94	72,75	49,3	-23,45
Noviembre	105,51	84,4	87,3	2,9
Diciembre	108,08	86,46	127,7	41,24
Enero	68,21	54,56	132,99	78,43
Febrero	74,53	59,62	80,73	21,11
Marzo	134,01	107,2	44,39	-62,81

Fuente: autor, 2020

La pluviometría, en calendario de siembra es de 581,29 mm que corresponde a lluvia bruta, valores de los cuales se debe descontar el 20% para considerar una pluviometría efectiva por tanto el valor es de 465,03 mm,

El riego que es la aplicación de agua entre la necesidad o requerimiento hídrico y la precipitación efectiva será 522,41 mm menos 465,03 mm será 57,39 mm,

El Riego se calculó por la ecuación (3). La aplicación del agua está en función de las eficiencias de los métodos.

El riego, bajo la eficiencia de los métodos en el cultivo de la haba indica la Tabla 24.

Tabla 24. Eficiencia de los métodos de riego

<b>METODO</b>	<b>EFICIENCIA (%)</b>	<b>RIEGO (mm)</b>
Gravedad (surcos rectos)	55 - 70	83,21– 74,60
Aspersión (climas fríos y húmedos)	80	68,86

Fuente: (García, 20011)

Revisando la tabla del balance hídrico, en los meses del calendario siembra, se visualiza que la pluviometría muestra la tendencia de una posibilidad de asumir en forma natural la pérdida de agua del cultivo, en donde se observa que los meses de octubre de 23,45 mm y marzo con 62,81 mm tienen superávit entendiéndose que no requiere riego.

En los meses noviembre y febrero, si requiere riego, el mismo que debe realizarse en función de las eficiencias de los métodos de riego y fundamentalmente bajo estos acontecimientos se ha realizado investigaciones y una de ellas la realizada en el Departamento de La Paz en Bolivia, en donde en la praxis se visualiza tal como se hace en Ecuador con métodos gravitacionales en las zonas donde se cultiva haba, En el trabajo de Bolivia consistió en plantear variables como caudal y tiempo de riego en cultivos como haba, arveja, esta investigación lo regento. (Apaza y Antonio, 2018), en esta premisa se vislumbró 79,07; 74,89 y 72,14% de eficiencia de riego, lo que concuerda con los valores que tiene el presente proyecto con eficiencias del 55 al 70 % en riego por surcos rectos.

En los resultados del trabajo de investigación presente se visualiza que el valor de riego es de 57,39 mm, cuya aplicación será bajo la consideración de la tabla de eficiencia, al 70% el riego será de 74,60 mm.

## **4.5 DETERMINACIÓN DEL REQUERIMIENTO HIDRICO DEL CULTIVO DE LA AVENA**

### **Datos:**

Fecha de siembra: 3 de febrero de octubre.

Latitud del sector: 0 51 98 latitud sur.

En la Tabla 25. Se ubica los valores promedios diarios, mensuales de las variables climáticas, estos valores de las tres estaciones meteorológicas según el calendario de siembra, en este caso de febrero a julio (Anexo 8).

Tabla 25. Valores promedios diarios mensuales de las variables climáticas de las estaciones: Rumipamba, Universidad Técnica de Cotopaxi y Cotopaxi

MES	T.PROMEDIO (°C)	PRECIPITACIÓN (mm)	VIENTO (m/s)	HELIOFANIA (horas)	HR MÍNIMA (%)
<b>Febrero</b>	13,10	74,53	7,49	12,63	62
<b>Marzo</b>	12,78	134,01	6,39	12,70	55,98
<b>Abril</b>	12,78	144,22	6,84	12,56	63,15
<b>Mayo</b>	12,49	111,05	8,45	12,63	64,28
<b>Junio</b>	11,93	64,57	8,03	12,40	64,41
<b>Julio</b>	11,73	36,48	8,81	12,10	60,04

Fuente; autor, 2020

**a. Calculo de la evapotranspiración de referencia, mediante formula de Blaney - Criddle**

El factor de Blaney- Criddle (f) se determinó usando la ecuación 1, en cada uno de los meses que corresponde al periodo del cultivo de la avena en la zona.

**Febrero**

$$f = p (0,46 t + 8,13)$$

$$f = 0,27 (0,46 \times 13,1 + 8,13)$$

$$f = 3,82 \text{ mm}$$

**Ajuste del valor de Blaney – Criddle y la Evapotranspiración**

**Febrero**

**Factor n/ N**

$$n = 12,63; N = 12,1; 12,63/12,1 = 1,04$$

n/N es mayor a 0,8

**Humedad Relativa mínima (HRmin %)**

El dato es: 62 esto corresponde a HRmin ALTA

**Velocidad del viento m/seg**

El dato de velocidad de viento es 7,49 m/seg, corresponde a viento fuerte

En la comparación gráfica, en el eje de las X está ubicado el valor del factor de Blaney - Criddle, se efectúa una perpendicular hacia la curva 3 de viento fuerte, en este punto se realiza otra perpendicular hacia el eje Y en donde se sitúa los valores de ETr.

En el resultado de esa operación es 3,92 es decir que

$$ETr \text{ mes} = 3,92 \text{ mm}$$

De igual manera se hizo para los demás meses, los valores del coeficiente de Blaney – Criddle y la evapotranspiración de referencia, se ubica en la Tabla 26.

Tabla 26. Valores calculados del coeficiente de Blaney- Criddle y evapotranspiración referencia del Nororiente de Alaquez, Ecuador, para los meses febrero a julio

MES	f mm	ETr mm
<b>Febrero</b>	3,82	3,92
<b>Marzo</b>	3,78	3,87
<b>Abril</b>	3,78	3,87
<b>Mayo</b>	3,74	3,83
<b>Junio</b>	3,67	3,76
<b>Julio</b>	3,65	3,74

Fuente: autor, 2020

#### **b. Determinación del coeficiente de cultivo (Kc)**

Los coeficientes de cultivo utilizados para la avena en sus diferentes etapas fenológicas que son etapas valores tabulares se muestran en la Tabla 27.

Tabla 27. Valores del coeficiente del cultivo (Kc) en dependencia de la etapa fenológica

ETAPA	DURACION (días)	FECHAS	Kc
Establecimiento del cultivo	15	3 febrero - 17 febrero	0,35
Desarrollo y crecimiento rápido	30	18 febrero - 18 marzo	0,75
Máxima evapotranspiración	65	19 marzo - 22 de mayo	1,15
Madurez y cosecha	40	23 mayo - 1 julio	0,45
	150		

Fuente: (C. Brouwer y M. Heibloem,) (fuentes, 2016)

#### **c. Calculo de evapotranspiración del cultivo (ETc)**

La evapotranspiración de la avena, se determina mediante la ecuación 2.

En la Tabla 28, se muestran los datos de evapotranspiración de referencia y los coeficientes de cultivos de cada etapa fenológica, estos valores permiten calcular la evapotranspiración de cultivo.

Tabla 28. Valores de Etc (mm)

<b>FECHAS</b>	<b>DIAS</b>	<b>ETr (mm)</b>	<b>Kc</b>	<b>ETc (mm)</b>
3 febrero - 17 febrero	15	3,92	0,35	1,37
18 febrero - 29 febrero	12	3,92	0,75	2,94
1 marzo - 18 marzo	18	3,87	0,75	2,90
19 marzo - 31 marzo	13	3,87	1,15	4,45
1 abril - 30 abril	30	3,87	1,15	4,45
1 mayo - 22 mayo	22	3,83	1,15	4,40
23 mayo - 31 mayo	9	3,83	0,45	1,72
1 junio - 30 junio	30	3,76	0,45	1,69
01-jul	1	3,74	0,45	1,68

Fuente: autor, 2020

#### **d. Calculo de las necesidades hídricas durante el periodo vegetativo**

Las necesidades hídricas por periodo y por mes del cultivo de la avena cuya relación da la necesidad hídrica están en la Tabla 29.

Tabla 29. Valores de las necesidades hídricas (mm) durante el período

<b>FECHAS</b>	<b>DIAS</b>	<b>ETc (mm)</b>	<b>NN.HH PERIODO (mm)</b>	<b>VALOR MES (mm)</b>	<b>MES</b>
3 febrero - 17 febrero	15	1,37	20,55		
18 febrero - 29 febrero	12	2,94	35,28	55,83	febrero
1 marzo - 18 marzo	18	2,90	52,20		
19 marzo - 31 marzo	13	4,45	57,85	110,05	marzo
1 abril - 30 abril	30	4,45	133,50	133,50	abril
1 mayo - 22 mayo	22	4,40	96,80		
23 mayo - 31 mayo	9	1,72	15,48	112,28	mayo
1 junio - 30 junio	30	1,69	50,70	50,70	junio
01-jul	1	1,68	1,68	1,68	julio
				464,04	

Fuente; autor, 2020



El requerimiento hídrico del cultivo de avena sembrado en el calendario de febrero a julio, es de 464,04 mm, lo que en equivalencias será 464,04 L/m<sup>2</sup> y 4 640,4 m<sup>3</sup>/ha.

Los valores de la precipitación de los meses del calendario de siembra y evapotranspiración del cultivo se ubican en la Tabla 30. Datos que permiten determinar el balance hídrico definiendo si hay o no riego.

Tabla 30. Tabla de balance hídrico, con valores mensuales

<b>MES</b>	<b>PRECIPITACION (mm)</b>	<b>PRECIPITACIÓN EFECTIVA (mm)</b>	<b>ETc (mm)</b>	<b>Balance</b>
Febrero	74,73	59,78	55,83	-3,95
Marzo	134,01	107,2	110,05	2,85
Abril	144,22	115,37	133,5	18,13
Mayo	111,05	88,84	112,28	23,44
Junio	64,57	51,65	50,7	-0,95
Julio	36,48	29,18	1,68	-27,5

Fuente: autor, 2020

La sumatoria plantea 564,87 mm, en un análisis muy breve, se puede decir que la pluviometría del sector cubrirá los requerimientos hídricos del cultivo, sin embargo la precipitación de la zona es de carácter bruta, por lo que se debe recortar un 20% para transformar a precipitación efectiva cuyo valor será 451,89 mm.

El riego será diferencia entre 464,04 mm del requerimiento hídrico del cultivo menos la precipitación efectiva 451,89 mm lo cual arroja un valor de 12,15 mm, sin embargo los valores serán en función a las eficiencias de riego.

El riego, bajo la eficiencia de los métodos en el cultivo de la avena indica la Tabla 31.

Tabla 31. Eficiencia de los métodos de riego

<b>METODO</b>	<b>EFICIENCIA (%)</b>	<b>RIEGO (mm)</b>
Gravedad (surcos rectos)	55 - 70	18,12 – 16,25
Aspersión (climas fríos y húmedos)	80	14,58

Fuente: (García, 20011)

Entre los trabajos de investigación en torno a la avena y la evapotranspiración, se ha dado en el Titicaca peruano, evaluando los datos climáticos para determinar la evapotranspiración potencial, el procedimiento investigativo planteo que la ecuación regional de evapotranspiración a través del tanque evaporímetro, evaluando el coeficiente el tanque para

tener mayor precisión de la evapotranspiración frente a otros métodos, así asigna la importancia del cálculo de este factor en la investigación presente.

En aquel trabajo en cuanto al reclutamiento de datos se tomó en cuenta los valores climatológicos bajo la categoría de promedios mensuales de temperatura media, humedad relativa, velocidad de viento, horas de sol, desde el año 1981 al 2007 para considerar valores normales, este trabajo fue desarrollado por .(Cruz, 2013). es decir que tienen alguna similitud de lo que se ha realizado en este trabajo.

Servin Palestina et al, (2018), desarrollo una investigación, a afán de conocer la relación del rendimiento de la materia seca con la evapotranspiración de cultivo, entonces el objetivo fue generar un modelo que permita determinar el rendimiento de forraje y la productividad del agua de riego, entonces se asemeja a este proyecto en estudio en donde las necesidades hídricas son valores para visualizar el efecto del agua como insumo.

El caso de este proyecto las dosis de riego calculadas mediante la relación del requerimiento hídrico y precipitación efectiva es 12,50 mm, cuya aplicación variara en apego al cuadro de eficiencia de riego.

## 4.6 CONCLUSIONES

1. En el caso de la presente investigación las estaciones del área de influencia son: Rumipamba, Universidad Técnica de Cotopaxi y Cotopaxi cuyos distanciamientos hacia los sitios de investigación cumplen con las recomendaciones.

Con el método de Blaney – Criddle, la evapotranspiración de referencia anual se obtuvieron los siguientes valores: enero 3,90 mm; febrero 3,92 mm; marzo 3,87 mm; abril 3,87 mm; mayo 3,80 mm; junio 3,72 mm; julio 3,70 mm; agosto 3,68 mm; septiembre 3,70 mm; octubre 3,87mm; noviembre 3,88; diciembre 3,87mm.

2. La evapotranspiración de cultivo fue el resultado de la evapotranspiración de referencia con los valores de los coeficientes del cultivo, lo cual permitió determinar la necesidad hídrica en cada etapa y mes del calendario de siembra propuesto para los cultivos, así el requerimiento hídrico se presentó de la siguiente manera: el cultivo de la haba con 522,41 mm; la avena con 464,04 mm; la papa con 448,81 mm; el maíz con 383,60 mm.

Las necesidades hídricas y la pluviometría fueron dinamizadas en un balance hídrico lo que permitió conocer si hay déficit o superávit, es decir si hay no riego, en el caso de la presente investigación todos los cultivos necesitan riego de la siguiente manera: papa con 218,13 mm; maíz 101,21 mm; el haba con 57 mm y avena con 12,5 mm.

## **4.7 RECOMENDACIONES**

1. Usar los calendarios de siembra planteados en la zona de investigación para los cultivos, desde el punto de vista meteorológico son los más adecuados, en vista que la valoración de los regímenes pluviométricos se ajustan a una reducción considerable del riego.
2. Usar los valores referenciales del requerimiento hídrico de esta investigación, para el cálculo y diseño de los proyectos riego a crearse, en n los proyectos actuales permitirá el replanteo de la regulación de turnos de agua para los asociados en las Juntas de Agua de riego.

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alianza SIDALC». s. f. Accedido 18 de diciembre de 2019. <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=bacdig.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=009958>.
- Apaza, Mamani, y Cesar Antonio. 2018. «Evaluación del riego tradicional por superficie a través del programa winsrfr en cultivos de haba (*Vicia faba*) y arveja (*Pisum sativum*) en el municipio de Palca». Thesis. <http://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/17153>.
- Brucker Kelling, Monica, Maristela Machado Araujo, Enrique Benítez León, Suelen Carpenedo Aimi, y Felipe Turchetto. 2017. «Regímenes de riego y dosis de polímero hidrotenerador sobre características morfológicas y fisiológicas de plantas de *Cordia trichotoma*». *Bosque (Valdivia)* 38 (1): 123-31. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002017000100013>.
- Carrera-Villacrés, David Vinicio, Paulina Valeria Guevara-García, Lizbeth Carolina Tamayo-Bacacela, Ana Lucía Balarezo-Aguilar, César Alfonso Narváez-Rivera, y Diana Rosa Morocho-López. 2016. «Relleno de series anuales de datos meteorológicos mediante métodos estadísticos en la zona costera e interandina del Ecuador, y cálculo de la precipitación media». *Idesia (Arica)* 34 (3): 81-90. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292016000300010>.
- Charaja Villalta, Abdon. 2017. «Evapotranspiración de los cultivos papa, quínuo y alfalfa estimados mediante métodos empíricos aplicados a la cuenca del lago Titicaca peruano». Universidad Nacional del Altiplano, diciembre. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/7784>.
- Cruz, Yury Hamilton Huapaya. 2013. «Análisis de la evapotranspiración potencial en función de elementos climáticos en la zona circunlacustre de la cuenca del Titicaca Peruano». *Revista ECIPerú* 9 (2): 6-6. <https://doi.org/10.33017/RevECIPeru2012.0020/>.
- Daza-Torres, Martha Constanza, Hugo Stiven Meneses-Carvajal, Aldemar Reyes-Trujillo, Norberto Urrutia-Cobo, Martha Constanza Daza-Torres, Hugo Stiven Meneses-Carvajal, Aldemar Reyes-Trujillo, y Norberto Urrutia-Cobo. 2017. «Stevia water needs calculated from the crop coefficient». *Agronomía Mesoamericana* 28 (2): 509-21. <https://doi.org/10.15517/ma.v28i2.24354>.

- Díaz- Abril, Diana Milena, Javier Enrique Vélez- Sánchez, y Pedro Rodríguez-Hernández. 2016. «Effect of the controlled irrigation in the yield and fruit quality of *Pyrus communis* L., cv. Triunfo de Viena». *Acta Agronómica* 65 (2): 156-63. <https://doi.org/10.15446/acag.v65n2.49650>.
- Fuentes, Yagüe José. 1996. «TECNICAS DE RIEGO» Coedición Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Ediciones Mundi Prensa. España.
- García Petillo, Mario, y Lucía Puppo. 2015. «Determinación de la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET<sub>o</sub>) para el diseño de equipos de riego en el Uruguay». *Agrociencia Uruguay* 19 (1): 122-30.
- Gomes de Andrade, Juliano, Pacheco Seguí, Reimar Carlesso, Célio Trois, y Alberto Eduardo Knies. 2011. «Pérdidas de agua por evaporación en maíz con siembra convencional y directa para diferentes niveles de cobertura muerta. I. resultados experimentales». *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias* 20 (2): 60-64.
- Íñiguez-Covarrubias, Mauro, Waldo Ojeda-Bustamante, y Abraham Rojano-Aguilar. 2011. «Metodología para la determinación de la evapotranspiración integrada y la capacidad de canales en una zona de riego». *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo* 43 (2): 175-91.
- Walker et al., 2018. «ESTIMACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL EN LAS ZONAS DE LAS LLANURAS MEDIANTE PRODUCTOS DE HUMEDAD DEL SUELO DE LA MISIÓN S.M.A.P ». *Revista Teledetección, España*.
- López Avendaño, Jesús Enrique, Tomás Díaz Valdés, Christopher Watts Thorp, Julio César Rodríguez, Alejandro Emilio Castellanos Villegas, Leopoldo Partida Ruvalcaba, Teresa de Jesús Velázquez Alcaraz, et al. 2015. «Evapotranspiración y coeficientes de cultivo de chile bell en el Valle de Culiacán, México». *Terra Latinoamericana* 33 (3): 209-19.
- Maggiora, Aida I Della, Andrea I Irigoyen, Jesús M Gardiol, y Octavio Caviglia. 2003. «EVALUACIÓN DE UN MODELO DE BALANCE DE AGUA EN EL SUELO PARA EL CULTIVO DE MAIZ.», 13.
- Martin, Edward C. 2017 «Métodos para Medir la Humedad del Suelo para la Programación del Riego ¿Cuándo?», 9.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, 2016. Guía para elaboración de los Planes de Riego y Drenajes, Quito, Ecuador

- Muñoz Toro, Nicolás. 2013. «Relación de la evapotranspiración real con la humedad disponible del suelo en ecosistemas naturales de zonas áridas». <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/148218>.
- Palacios-Vélez, Oscar Luis, Bernardo Samuel Escobar-Villagrán, Oscar Luis Palacios-Vélez, y Bernardo Samuel Escobar-Villagrán. 2016. «La sustentabilidad de la agricultura de riego ante la sobreexplotación de acuíferos». *Tecnología y ciencias del agua* 7 (2): 5-16.
- Paquini-Rodríguez, Sara L., Ignacio Benítez-Riquelme, Héctor E. Villaseñor-Mir, Abel Muñoz-Orozco, Humberto Vaquera-Huerta, Sara L. Paquini-Rodríguez, Ignacio Benítez-Riquelme, Héctor E. Villaseñor-Mir, Abel Muñoz-Orozco, y Humberto Vaquera-Huerta. 2016. «Incremento en el rendimiento y sus componentes bajo riego normal y restringido de variedades mexicanas de trigo». *Revista fitotecnia mexicana* 39 (4): 367-78.
- Paz, Ordoñez, y César Matías. 2016. «Efecto del cambio climático en la evapotranspiración y rendimiento del cultivo de papa, variedad Única bajo condiciones de La Molina». Universidad Nacional Agraria La Molina. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/2241>.
- Peña, Ramon Villaman, Leonardo Tijerina Chávez, y Abel Quevedo Nolasco. 2001. «COMPARACION DE ALGUNOS METODOS MICROMETEOROLOGICOS PARA ESTIMAR LA EVAPOTRANSPIRACION, EN EL AREA DE MONTECILLO, MEXICO», 12.
- Pereira, L, et al., 2006. «EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO» Organización de las Naciones Unidas Para la Agricultura y la Alimentación. Estudio FAO Riego y Drenajes 56. Roma.
- Ríos Flores, José Luis, Miriam Torres Moreno, José Ruiz Torres, Marco Antonio Torres Moreno, José Luis Ríos Flores, Miriam Torres Moreno, José Ruiz Torres, y Marco Antonio Torres Moreno. 2016. «Eficiencia y productividad del agua de riego en trigo (*Triticum vulgare*) de Ensenada y Valle de Mexicali, Baja California, México». *Acta universitaria* 26 (1): 20-29. <https://doi.org/10.15174/au.2016.825>.
- Rosas Tomás, Gilmer. 2019. «Rendimiento del cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) (Amaranthaceae), desarrollado en cuatro densidades de siembra bajo condiciones de suelo arenoso.» Universidad Privada Antenor Orrego. <http://repositorio.upao.edu.pe/handle/upaorep/4697>.

- Saucedo, Heber, Manuel Zavala, y Carlos Fuentes. 2015. «Diseño de riego por melgas empleando las ecuaciones de Saint-Venant, y Green y Ampt». Tecnología y ciencias del agua 6 (5): 103-12.
- Sepúlveda Rivera, Isabel, Raúl Molina Otárola, María del Mar Delgado-Serrano, y José Emilio Guerrero Ginel. 2015. «AGUAS, RIEGO Y CULTIVOS: CAMBIOS Y PERMANENCIAS EN LOS AYLLUS DE SAN PEDRO DE ATACAMA» Estudios Atameños No. 51. Cordova, España
- Serio, Leonardo. 2015. «DESARROLLO Y VALIDACIÓN DE UN MODELO DE SISTEMA SUELO, AGUA, ATMOSFERA PARA LA ESTIMACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL DEL CULTIVO DEL MAIZ» Tesis Doctorante, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires.  
([https://satellites.pro/mapa\\_de\\_Latacunga#-0.855507,-78.536668,15\\_2019](https://satellites.pro/mapa_de_Latacunga#-0.855507,-78.536668,15_2019))



# ANEXOS

## Anexo 1.

Horas luz por día expresadas como porcentaje total anual

Latitud												
Norte	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Latitud Sur	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.
60°	0,15	0,20	0,26	0,32	0,38	0,41	0,40	0,34	0,28	0,22	0,17	0,13
58°	0,16	0,21	0,26	0,32	0,37	0,40	0,39	0,34	0,28	0,23	0,18	0,15
56°	0,17	0,21	0,26	0,32	0,36	0,39	0,38	0,33	0,28	0,23	0,18	0,16
54°	0,18	0,22	0,26	0,31	0,36	0,38	0,37	0,33	0,28	0,23	0,19	0,17
42°	0,19	0,22	0,27	0,31	0,35	0,37	0,36	0,33	0,28	0,24	0,20	0,17
50°	0,19	0,23	0,27	0,31	0,34	0,36	0,35	0,32	0,28	0,24	0,20	0,28
48°	0,20	0,23	0,27	0,31	0,34	0,36	0,35	0,32	0,28	0,24	0,21	0,29
46°	0,20	0,23	0,27	0,30	0,34	0,35	0,34	0,32	0,28	0,24	0,21	0,20
44°	0,21	0,24	0,27	0,30	0,33	0,35	0,34	0,31	0,28	0,25	0,22	0,20
42°	0,21	0,24	0,27	0,30	0,33	0,34	0,33	0,31	0,28	0,25	0,22	0,21
40°	0,22	0,24	0,27	0,30	0,32	0,34	0,33	0,31	0,28	0,25	0,22	0,21
35°	0,23	0,25	0,27	0,29	0,31	0,32	0,32	0,30	0,28	0,25	0,23	0,22
30°	0,24	0,25	0,27	0,29	0,31	0,32	0,31	0,30	0,28	0,26	0,24	0,23
25°	0,24	0,26	0,27	0,29	0,30	0,31	0,31	0,29	0,28	0,26	0,25	0,24
20°	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	0,30	0,29	0,28	0,26	0,25	0,25
15°	0,26	0,26	0,27	0,28	0,29	0,29	0,29	0,28	0,28	0,27	0,26	0,25
10°	0,26	0,27	0,27	0,28	0,28	0,29	0,29	0,28	0,28	0,27	0,26	0,26
5°	0,27	0,27	0,27	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,27	0,27	0,27
0°	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27

(Fuentes, 1996)

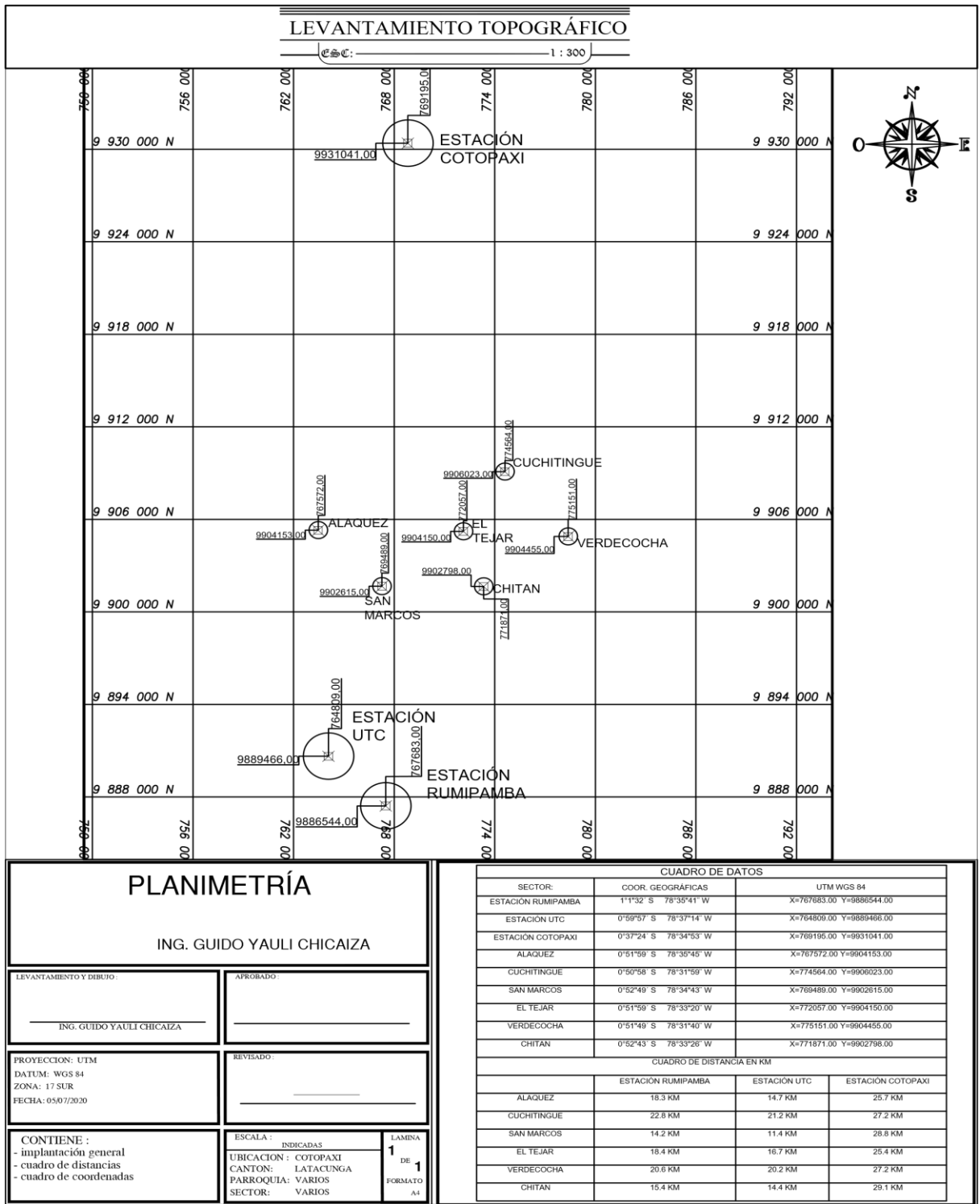
Anexo 2.

Duración máxima diaria media de las horas de fuerte insolación N en diferentes meses y latitudes

Latitud	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Norte												
Latitud Sur	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
50°	8,5	10,1	11,8	13,8	15,4	16,3	15,9	14,5	12,7	10,8	9,1	8,1
48°	8,8	10,2	11,8	13,6	15,2	16,0	15,6	14,3	12,6	10,9	9,3	8,3
46°	9,1	10,4	11,9	13,5	14,9	15,7	15,4	14,2	12,6	10,9	9,5	8,7
44°	9,3	10,5	11,9	13,4	14,7	15,4	15,2	14,0	12,6	11,0	9,7	8,9
42°	9,4	10,6	11,9	13,4	14,6	15,2	14,9	13,9	12,6	11,1	9,8	9,1
40°	9,6	10,7	11,9	13,3	14,4	15,0	14,7	13,7	12,5	11,2	10,0	9,3
35°	10,1	11,0	11,9	13,1	14,0	14,5	14,3	13,5	12,4	11,3	10,3	9,8
30°	10,4	11,1	12,0	12,9	13,6	14,0	13,9	13,2	12,4	11,5	10,6	10,2
25°	10,7	11,3	12,0	12,7	13,3	13,7	13,5	13,0	12,3	11,6	10,9	10,6
20°	11,0	11,5	12,0	12,6	13,1	13,3	13,2	12,8	12,3	11,7	11,2	10,9
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

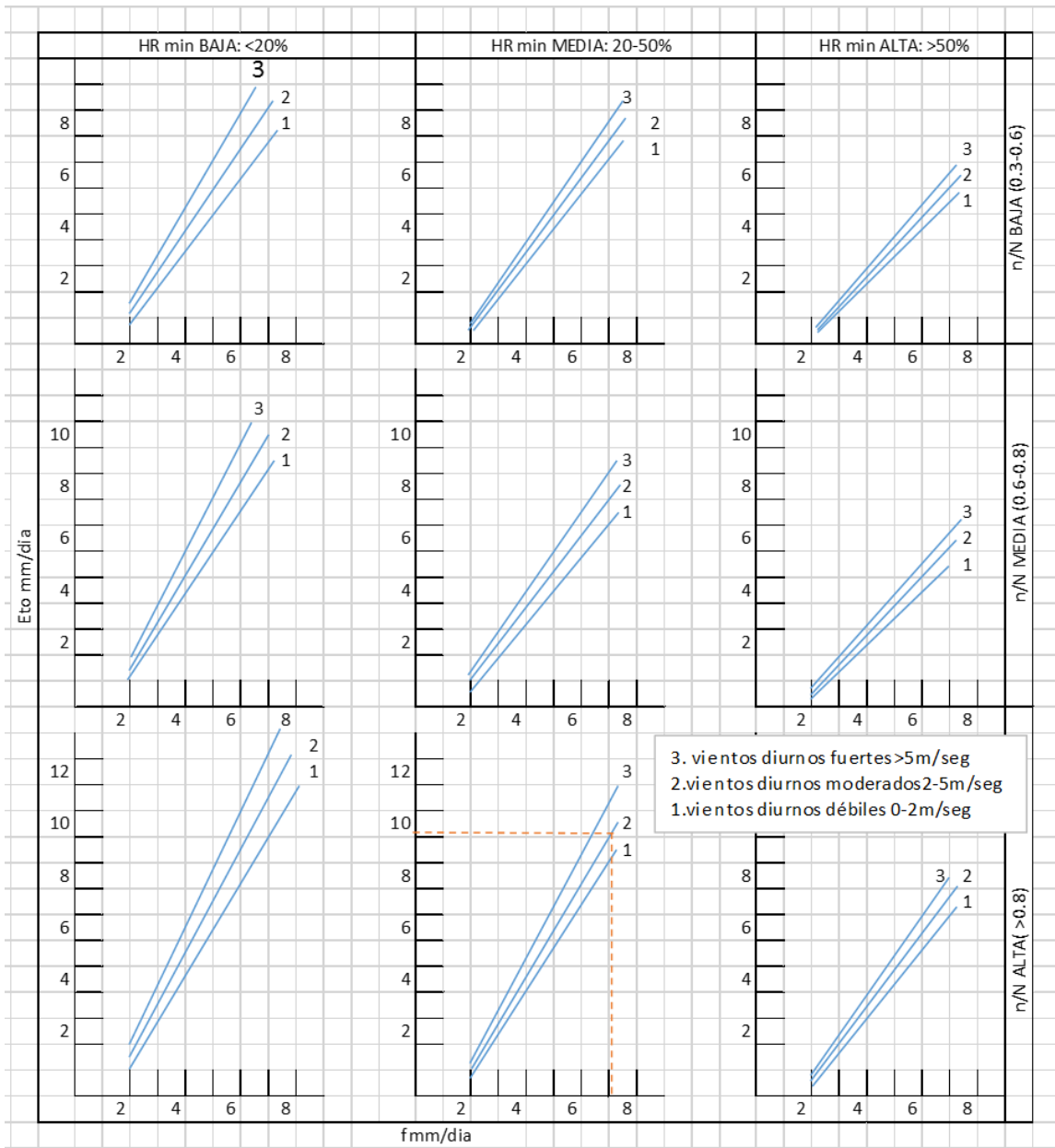
(Fuentes, 1996)

Anexo 3.  
 Información planimétrica de la zona de estudio, autor 2020.



Anexo 4.

Predicción de la ETr, (eje de coordenadas) a partir del factor Blaney – Criddle (eje de abscisas) para diferentes condiciones de humedad relativa mínima, horas de insolación diarias y vientos diarios (Fuetes, 1996)



Anexo 5.

Coefficientes del cultivo (Kc) de cultivos anuales (C. Brouwer y M. Heibloem, 1996) (Fuentes, 1996)

<i>Cultivo</i>	<i>Primera etapa</i>	<i>Segunda etapa</i>	<i>Tercera etapa</i>	<i>Cuarta etapa</i>
Algodón	0,45	0,75	1,15	0,75
Avena	0,35	0,75	1,15	0,45
Berenjena	0,45	0,75	1,15	0,80
Cacahuete	0,45	0,75	1,05	0,70
Clabaza	0,45	0,70	0,90	0,75
Cebada	0,35	0,75	1,15	0,45
Cebolla verde	0,50	0,70	1,00	1,00
Cebolla seca	0,50	0,75	1,05	0,85
Col	0,45	0,75	1,05	0,90
Espinaca	0,45	0,60	1,00	0,90
Girasol	0,35	0,75	1,15	0,55
Guisante	0,45	0,80	1,15	1,05
Judía verde	0,35	0,70	1,10	0,90
Judía seca	0,35	0,70	1,10	0,30
Lechuga	0,45	0,60	1,00	0,90
Lenteja	0,45	0,75	1,10	0,50
Lino	0,45	0,75	1,15	0,75
Maíz dulce	0,40	0,80	1,15	1,00
Maíz grano	0,40	0,80	1,15	0,70
Melón	0,45	0,75	1,00	0,75
Mijo	0,35	0,70	1,10	0,65
Patata	0,45	0,75	1,15	0,85
Pepino	0,45	0,70	0,90	0,75
Pequeñas semillas	0,35	0,75	1,10	0,65
Pimiento fresco	0,35	0,70	1,05	0,90
Rábano	0,45	0,60	0,90	0,90
Remolacha azucarera	0,45	0,80	1,15	0,80
Soja	0,35	0,75	1,10	0,60
Sorgo	0,35	0,75	1,10	0,65
Tabaco	0,35	0,75	1,10	0,90
Tomate	0,45	0,75	1,15	0,8
Trigo	0,35	0,75	1,15	0,45
Zanahoria	0,45	0,75	1,05	0,90

Anexo 6.

Duración aproximada de las etapas en el ciclo vegetativo de cultivos anuales (C. Brouwer y M. Heibloem, 1996) (Fuentes, 1996)

<i>Cultivo</i>	<i>Total</i>	<i>Primera etapa</i>	<i>Segunda etapa</i>	<i>Tercera etapa</i>	<i>Cuarta etapa</i>
Algodón	180-195	30-30	50-50	55-65	45-50
Avena	120-150	15-15	25-30	50-65	30-40
Berenjena	130-140	30-30	40-40	40-45	20-25
Cacahuete	130-140	25-30	35-40	45-45	25-25
Clabaza	95-120	20-25	30-35	30-35	15-25
Cebada	120-150	15-15	25-30	50-65	30-40
Cebolla verde	70-95	25-25	30-40	10-20	5-10
Cebolla seca	150-210	15-20	25-35	70-110	40-45
Col	120-140	20-25	25-30	60-65	15-20
Espinaca	60-100	20-20	20-30	15-40	5-10
Girasol	125-130	20-25	35-35	45-45	25-25
Guisante	90-100	15-20	25-30	35-35	15-15
Judía verde	75-90	15-20	25-30	25-30	10-10
Judía seca	95-110	15-20	25-30	35-40	20-20
Lechuga	75-140	20-35	30-50	15-45	10-10
Lenteja	150-170	20-25	30-35	60-70	40-40
Lino	180-195	30-30	50-50	55-65	45-50
Maíz dulce	80-110	20-20	25-30	25-50	10-10
Maíz grano	125-180	20-30	35-50	40-60	30-40
Melón	120-160	25-30	35-45	40-65	20-20
Mijo	105-140	15-20	25-30	40-55	25-35
Patata	105-145	25-30	30-35	30-50	20-30
Pepino	105-130	20-25	30-35	40-50	15-20
Pequeñas semillas	150-165	20-25	30-35	60-65	40-40
Pimiento	120-210	25-30	35-40	40-110	20-30
Rábano	35-40	5-10	10-10	15-15	5-5
Remolacha azucarera	160-230	25-45	35-65	60-80	40-40
Soja	135-150	20-20	30-30	60-70	25-30
Sorgo	120-130	20-20	30-35	40-45	30-30
Tomate	135-180	30-35	40-45	40-70	25-30
Trigo	120-150	15-15	25-30	50-65	30-40
Zanahoria	100-150	20-25	30-35	30-70	20-20

Anexo 7.

## DATOS METEOROLÓGICOS DE LAS ESTACIONES

Datos meteorológicos promedios estación Rumipamba

MES	T.PROMEDIO °C	PRECIPITACIÓN mm	VIENTO m/s	LUZ horas	HR MÍNIMA %
<b>Enero</b>	14,91	43,17	5,08	12	37,90
<b>Febrero</b>	15,10	56,17	4,96	12	40
<b>Marzo</b>	14,58	65,33	5,07	12	41,95
<b>Abril</b>	14,92	71,27	4,60	12	41,47
<b>Mayo</b>	14,33	51,89	9,96	12	45,85
<b>Junio</b>	13,74	30,20	5,81	12	44,23
<b>Julio</b>	13,38	18,41	6,22	12	42,14
<b>Agosto</b>	13,14	14,20	6,20	12	39,14
<b>Septiembre</b>	12,86	21,95	6,36	12	38,66
<b>Octubre</b>	14,94	47,06	5,62	12	34,28
<b>Noviembre</b>	14,27	63,22	5,44	12	34,80
<b>Diciembre</b>	14,74	60,04	5,10	12	36,42

Fuente: autor 2020

Datos meteorológicos promedios estación Universidad técnica de Cotopaxi

MES	T.PROMEDIO °C	PRECIPITACIÓN mm	VIENTO m/s	LUZ horas	HR MÍNIMA %
<b>Enero</b>	14,90	49,30	6,20	13,60	51
<b>Febrero</b>	14,90	44,90	4,20	13,90	58
<b>Marzo</b>	14,50	74,80	4,50	14,10	59
<b>Abril</b>	14,30	56,40	4,60	13,70	60
<b>Mayo</b>	14,10	49,10	4,10	13,90	61
<b>Junio</b>	13,50	29,20	6,30	13,20	62
<b>Julio</b>	13	10	6,60	12,30	51
<b>Agosto</b>	13,10	16,80	60	11,40	40
<b>Septiembre</b>	13,60	21,10	5,90	11,40	41,70
<b>Octubre</b>	14,60	41,90	5,10	12,30	43,50
<b>Noviembre</b>	15,10	69,30	9,40	12,20	45,25
<b>Diciembre</b>	14,60	34,70	4,90	12,50	47

Fuente: autor, 2020

Datos meteorológicos promedios de la estación Cotopaxi

<b>MES</b>	<b>T.PROMEDIO</b>	<b>PRECIPITACIÓN</b>	<b>VIENTO</b>	<b>LUZ</b>	<b>HR MÍNIM A</b>
	<b>°C</b>	<b>mm</b>	<b>m/s</b>	<b>horas</b>	<b>%</b>
<b>Enero</b>	9,07	112,18	11,55	12	88
<b>Febrero</b>	9,30	122,53	13,33	12	88
<b>Marzo</b>	9,26	261,90	9,60	12	67
<b>Abril</b>	9,12	305,01	11,33	12	88
<b>Mayo</b>	9,05	232,16	11,30	12	86
<b>Junio</b>	8,57	134,31	12	12	87
<b>Julio</b>	8,82	81,04	13,62	12	87
<b>Agosto</b>	8,63	52,42	14,62	12	86
<b>Septiembre</b>	8,86	102,32	12,60	12	83
<b>Octubre</b>	8,91	183,87	11,25	12	87
<b>Noviembre</b>	9,11	184,02	11,27	12	87
<b>Diciembre</b>	9,10	229,51	10,12	12	83

Fuente: autor, 2020



Anexo.8

## **DATOS PROMEDIOS DE LAS TRES ESTACIONES METEOROLÓGICAS**

Temperatura promedio de las tres estaciones meteorológicas (°C)

<b>MES</b>	<b>RUMIPAMBA</b>	<b>U.T.C</b>	<b>COTOPAXI</b>	<b>SUMATORIA</b>	<b>PROMEDIO</b>
<b>Enero</b>	14,91	14,90	9,07	38,87	12,95
<b>Febrero</b>	15,10	14,90	9,30	39,3	13,1
<b>Marzo</b>	14,58	14,50	9,26	38,34	12,78
<b>Abril</b>	14,92	14,30	9,12	38,34	12,78
<b>Mayo</b>	14,33	14,10	9,05	37,48	12,49
<b>Junio</b>	13,74	13,50	8,57	35,81	11,93
<b>Julio</b>	13,38	13	8,82	35,2	11,73
<b>Agosto</b>	13,14	13,10	8,63	34,86	11,62
<b>Septiembre</b>	12,86	13,60	8,86	35,32	11,77
<b>Octubre</b>	14,94	14,60	8,91	38,45	12,81
<b>Noviembre</b>	14,27	15,10	9,11	38,48	12,82
<b>Diciembre</b>	14,4	14,60	9,10	38,44	12,81

Fuente: autor, 2020

Precipitaciones promedio de la tres estaciones meteorológicas (mm)

<b>MES</b>	<b>RUMIPAMBA</b>	<b>U.T.C</b>	<b>COTOPAXI</b>	<b>SUMATORIA</b>	<b>PROMEDIO</b>
<b>Enero</b>	43,17	49,30	112,18	204,65	68,22
<b>Febrero</b>	56,17	44,90	122,53	223,60	74,53
<b>Marzo</b>	65,33	74,80	261,90	402,03	134,01
<b>Abril</b>	71,27	56,40	305,01	432,68	144,22
<b>Mayo</b>	51,89	49,10	232,16	333,15	111,05
<b>Junio</b>	30,20	29,20	134,31	193,71	64,57
<b>Julio</b>	18,41	10	81,04	109,45	36,48
<b>Agosto</b>	14,20	16,80	52,42	83,42	27,80
<b>Septiembre</b>	21,95	21,10	102,32	145,37	48,45
<b>Octubre</b>	47,06	41,90	183,87	272,83	90,94
<b>Noviembre</b>	63,22	69,30	184,02	316,54	105,51
<b>Diciembre</b>	60,04	34,70	229,51	324,25	108,08

Fuente: autor, 2020

Velocidades de viento promedio de las tres estaciones meteorológicas (m/s)

<b>MES</b>	<b>RUMIPAMBA</b>	<b>U.T.C</b>	<b>COTOPAXI</b>	<b>SUMATORIA</b>	<b>PROMEDIO</b>
<b>Enero</b>	5,08	6,20	11,55	22,83	7,61
<b>Febrero</b>	4,6	4,20	13,33	22,49	7,49
<b>Marzo</b>	5,07	4,50	9,60	19,17	6,39
<b>Abril</b>	4,60	4,60	11,33	20,53	6,84
<b>Mayo</b>	9,96	4,10	11,30	25,36	8,45
<b>Junio</b>	5,81	6,30	12	24,11	8,03
<b>Julio</b>	6,22	6,60	13,62	26,44	8,81
<b>Agosto</b>	6,20	6	14,62	26,82	8,94
<b>Septiembre</b>	6,36	5,90	12,60	24,86	8,28
<b>Octubre</b>	5,62	5,10	11,25	21,97	7,32
<b>Noviembre</b>	5,44	9,40	11,27	26,11	8,70
<b>Diciembre</b>	5,10	4,90	10,12	20,12	6,70

Fuente: autor, 2020

Heliofanía promedio de las tres estaciones meteorológicas (horas)

<b>MES</b>	<b>RUMIPAMBA</b>	<b>U.T.C</b>	<b>COTOPAXI</b>	<b>SUMATORIA</b>	<b>PROMEDIO</b>
<b>Enero</b>	12	13,60	12	37,60	12,53
<b>Febrero</b>	12	13,90	12	37,90	12,63
<b>Marzo</b>	12	14,10	12	38,10	12,70
<b>Abril</b>	12	13,70	12	37,70	12,56
<b>Mayo</b>	12	13,90	12	37,90	12,63
<b>Junio</b>	12	13,20	12	37,20	12,40
<b>Julio</b>	12	12,30	12	36,30	12,10
<b>Agosto</b>	12	11,40	12	35,40	11,80
<b>Septiembre</b>	12	11,40	12	35,40	11,80
<b>Octubre</b>	12	12,30	12	36,30	12,10
<b>Noviembre</b>	12	12,20	12	36,2	12,06
<b>Diciembre</b>	12	12,50	12	36,50	12,16

Fuente: autor, 2020

Humedad relativa mínima promedio de las tres estaciones (%)

<b>MES</b>	<b>RUMIPAMBA</b>	<b>U.T.C</b>	<b>COTOPAXI</b>	<b>SUMATORIA</b>	<b>PROMEDIO</b>
<b>Enero</b>	37,90	51	88	176,90	58,96
<b>Febrero</b>	40	58	88	186	62
<b>Marzo</b>	41,95	59	67	167,95	55,98
<b>Abril</b>	41,47	60	88	189,47	63,15
<b>Mayo</b>	45,85	61	86	192,85	64,28
<b>Junio</b>	44,23	62	87	193,23	64,41
<b>Julio</b>	42,14	51	87	180,14	60,04
<b>Agosto</b>	39,14	40	86	165,14	55,04
<b>Septiembre</b>	38,66	41,70	83	163,36	54,45
<b>Octubre</b>	34,28	43,50	87	164,78	54,92
<b>Noviembre</b>	34,80	45,25	87	167,05	55,68
<b>Diciembre</b>	36,42	47	83	166,42	55,47

Fuente: autor, 2020