



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

**Determinación de las fechas de siembra de tres cultivos al temporal, con
base en el Kc del cultivo y el agua disponible en Tumbaco**

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniera Agrónoma

AUTORA: Limaico Quinteros Karina Estefanía

TUTOR: M.Sc. Randon Stalin Ortiz Calle

Quito, Abril 2019

DERECHOS DE AUTOR

Yo, KARINA ESTEFANÍA LIMAICO QUINTEROS en calidad de autora y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación: **DETERMINACIÓN DE LAS FECHAS DE SIEMBRA DE TRES CULTIVOS AL TEMPORAL, CON BASE EN EL Kc DEL CULTIVO Y EL AGUA DISPONIBLE EN TUMBACO** modalidad presencial, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN, concedo a favor de la Universidad Central del Ecuador y del tutor, una licencia gratuita, intransferible y exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos. Conservo a mi favor todos los derechos de autor sobre la obra, establecidos en la normativa citada.

Así mismo, autorizó a la Universidad Central del Ecuador para que realice la digitalización y publicación de este trabajo de titulación en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

El autor declara que la obra objeto de la presente autorización es original en su forma de expresión y no infringe el derecho de autor de terceros, asumiendo la responsabilidad por cualquier reclamación que pudiera presentarse por esta causa y liberando a la Universidad de toda responsabilidad.

Karina Estefanía Limaico Quinteros
C.C. 1719257378
krina_lq@hotmail.com

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del trabajo de titulación presentado por **KARINA ESTEFANÍA LIMAICO QUINTEROS**, para optar el Grado de Ingeniera Agrónoma; cuyo título es: **DETERMINACIÓN DE LAS FECHAS DE SIEMBRA DE TRES CULTIVOS AL TEMPORAL, CON BASE EN EL K_c DEL CULTIVO Y EL AGUA DISPONIBLE EN TUMBACO**, considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del tribunal examinador que se designe.

En la ciudad de Quito, a los 24 días del mes de abril del 2019

M.Sc. Randon Stalin Ortiz Calle

DOCENTE-TUTOR

C.C: 1102697396

DETERMINACIÓN DE LAS FECHAS DE SIEMBRA DE TRES CULTIVOS AL TEMPORAL, CON BASE EN EL K_c DEL CULTIVO Y EL AGUA DISPONIBLE EN TUMBACO.

APROBADO POR

Ing. Agr. Randon Ortiz, M.Sc.

TUTOR

Ing. Agr. Carlos Nieto, Ph.D.

LECTOR

Ing. Agr. Manuel Pumisacho, M.Sc.

LECTOR

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación lo dedico a mi madre y a mis hermanos por brindarme su confianza, sus valores y por el apoyo incondicional que me ofrecieron en cada momento de mi vida. Gracias familia.

KARINA

AGRADECIMIENTOS

A mi madre Sonia y a mis hermanos David y Mónica por su apoyo e impulso.

De manera muy especial a mi director de Tesis; Ingeniero Randon Ortiz por brindarme sus conocimientos, su apoyo incondicional, sus consejos y por la paciencia que me brindó en toda la investigación y en los años como mi maestro, gracias a la Ing. Maritza Chile por su guía en la investigación y su amistad y al Ing. Cristian Vasco por sus consejos.

A la Universidad Central del Ecuador y a la Facultad de Ciencias Agrícolas por sus maestros quien con su sabiduría me han ilustrado a lo largo de la carrera.

A todos mis amigos y compañeros que supieron brindarme su amistad, su confianza y estuvieron incondicionalmente en todos los momentos de esta etapa de mi vida.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO	PÁGINAS
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Agricultura de temporal.....	3
2.2. Cultivos.....	3
2.2.1. Fréjol.....	3
2.2.2. Maíz.....	5
2.2.3. Papa	6
2.3. Cambio Climático.....	7
2.3.1. Variabilidad climática	8
2.4. Balance Hídrico	8
2.4.1. Evapotranspiración de referencia	8
2.4.2. Coeficiente del cultivo.....	9
2.4.3. Evapotranspiración real	10
2.4.4. Precipitación	10
2.4.5. Precipitación efectiva	11
2.5. Humedad relativa.....	11
III. MATERIALES Y MÉTODOS	12
3.1. Características del sitio experimental	12
3.1.1. Ubicación política del sitio experimental	12
3.1.2. Condiciones agroclimáticas de la parroquia de Tumbaco	13
3.2. Materiales	13
3.3. Métodos	14
3.3.1. Recolección de datos	14
3.3.2. Análisis de las variables climatológicas	14
3.3.3. Método estadístico de tendencias	15
3.3.4. Fecha de siembra de los agricultores	17
3.3.5. Escenarios de estudio	19
3.3.6. Precipitación Probable	19
3.3.7. Precipitación efectiva	21
3.3.8. Evapotranspiración de referencia	21
3.3.9. Coeficiente del cultivo.....	21

CAPÍTULO	PÁG
3.3.10. Evapotranspiración real	22
3.3.11. Balance Hídrico	22
3.3.12. Fechas de siembras óptimas	23
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	24
4.1. Análisis de Variación Climática	24
4.1.1. Temperatura Mínima (Tmin).....	24
4.1.2. Temperatura Máxima (Tmax)	27
4.1.3. Humedad Relativa (HR)	29
4.1.4. Evaporación del tanque clase A.....	31
4.1.5. Precipitación	35
4.2. Análisis de Encuestas	38
4.2.1. Características socio demográficas.....	38
4.2.2. Conocimientos acerca del cambio climático	39
4.3. Fechas de siembra según el Balance Hídrico	44
4.3.1. Cultivo de fréjol.....	44
4.3.2. Cultivo de maíz.....	48
4.3.3. Cultivo de papa.....	53
V. CONCLUSIONES	58
VI. RECOMENDACIONES.....	59
VII. RESUMEN	60
VIII. REFERENCIAS.....	62
IX. ANEXOS	67
X. GLOSARIO.....	74

LISTA DE TABLAS

TABLAS	PÁG.
1. Número de agricultores encuestados por zonas	18
2. Descripción de los escenarios	19
3. Duración de las etapas de crecimientos (días).	22
4. Valores del coeficiente único (promedio temporal) del cultivo.....	22
5. Resumen de la estadística descriptiva de Temperatura mínima.....	25
6. Análisis de tendencia para Temperatura mínima 1988 - 2017.....	26
7. Resumen de la estadística descriptiva de Temperatura máxima.....	28
8. Análisis de tendencia para Temperatura máxima 1988 - 2017	29
9. Resumen de la estadística descriptiva de Humedad Relativa.	30
10. Análisis de tendencia para Humedad Relativa 1988 - 2017..	31
11. Resumen de la estadística descriptiva de la Evaporación del tanque clase A.....	33
12. Análisis de tendencia para Evaporación 1981 – 2017.	34
13. Resumen de la estadística descriptiva de Precipitación.	37
14. Análisis de tendencia para Precipitación 1981 - 2017.	38
15. Balance Hídrico del cultivo de fréjol, para diferentes fechas de siembra.	45
16. Balance Hídrico del cultivo de maíz, para diferentes fechas de siembra.....	49
17. Balance Hídrico del cultivo de papa, para diferentes fechas de siembra.	53
18. Fechas de siembra seleccionadas a través del Balance Hídrico.....	57

LISTA DE FIGURAS

FIGURAS	PÁG.
1. Etapas fenológicas del cultivo de fréjol..	4
2. Etapas fenológicas del cultivo de maíz.	5
3. Etapas fenológicas del cultivo de papa..	6
4. Representación de los rasgos típicos del coeficiente Kc, fases de crecimiento..	10
5. Ubicación de la zona de estudio, Tumbaco – Pichincha.....	12
6. Temperatura mínima mensual multianual. Serie de datos 1988 - 2017.	24
7. Temperatura mínima promedio mensual. Serie de datos 1988 - 2017.....	25
8. Temperatura máxima mensual multianual. Serie de datos 1988 - 2017.	27
9. Temperatura máxima promedio mensual. Serie de datos 1988 - 2017	27
10. Humedad Relativa mensual multianual. Serie de datos 1988 - 2017.....	29
11. Humedad Relativa promedio mensual. Serie de datos 1988 - 2017.	30
12. Evaporación mensual multianual. Serie de datos 1981 - 2017.	32
13. Evaporación promedio mensual. Serie de datos 1981 - 2017..	32
14. Relación existente entre las variables (Tmax, Eo HR).	35
15. Tendencia de Eo y HR mensual multianual. Serie histórica 1988 - 2017.	35
16. Precipitación mensual multianual. Serie de datos 1981 - 2017.	36
17. Precipitación promedio mensual. Serie de datos 1981 - 2017.	36
18. Nivel de escolaridad de los agricultores de temporal.....	39
19. Porcentaje de agricultores que creen que existe el cambio climático.	39
20. Porcentaje de agricultores que han notado la presencia del cambio.	40
21. Causas por las cuales los agricultores atribuyen al cambio climático.	40
22. Porcentaje de agricultores que creen que el cambio climático afecta al cultivo.....	41
23. Porcentaje de agricultores que según su percepción la temperatura ha cambiado.....	41

FIGURAS**PÁG.**

24.	Porcentaje de agricultores que según su percepción la lluvia ha cambiado.....	42
25.	Porcentaje de agricultores que ha cambiado su fecha de siembra.	42
26.	Porcentaje de agricultores que toman varios criterios antes de la siembra.	43
27.	Fechas de siembra de mayor frecuencia del cultivo de fréjol.	43
28.	Fechas de siembra de mayor frecuencia del cultivo de maíz.	44
29.	Fechas de siembra de mayor frecuencia del cultivo de papa.	44
30.	Pe y ETr para el cultivo de fréjol. Fecha de siembra del agricultor.....	46
31.	Pe y ETr para el cultivo de fréjol. Fecha de siembra 01 de febrero.....	46
32.	Pe y ETr para el cultivo de fréjol. Fecha de siembra 07 de febrero.	47
33.	Pe y ETr para el cultivo de fréjol. Fecha de siembra 14 de febrero.....	47
34.	Pe y ETr para el cultivo de fréjol. Fecha de siembra 21 de febrero.	48
35.	Pe y ETr para el cultivo de fréjol. Fecha de siembra 28 de febrero.....	48
36.	Pe y ETr para el cultivo de maíz. Fecha de siembra del agricultor.....	50
37.	Pe y ETr para el cultivo de maíz. Fecha de siembra 28 de septiembre.	50
38.	Pe y ETr para el cultivo de maíz. Fecha de siembra 01 de enero.	51
39.	Pe y ETr para el cultivo de maíz. Fecha de siembra 07 de enero.	52
40.	Pe y ETr para el cultivo de maíz. Fecha de siembra 14 de enero.	52
41.	Pe y ETr para el cultivo de papa. Fecha de siembra del agricultor.	54
42.	Pe y ETr para el cultivo de papa. Fecha de siembra 28 de septiembre.	54
43.	Pe y ETr para el cultivo de papa. Fecha de siembra 28 de diciembre.	55
44.	Pe y ETr para el cultivo de papa. Fecha de siembra 01 de enero.....	56
45.	Pe y ETr para el cultivo de papa. Fecha de siembra 07 de enero.	56

LISTA DE ECUACIONES

ECUACIÓN	PÁG.
1. Media ($\bar{x}$).....	14
2. Desviación estándar (S).....	14
3. Coeficiente de variación (C.V)	15
4. Desviación estándar método Mann Kendall	15
5. Varianza método Mann Kendall	16
6. Análisis normalizado Z parámetro Mann Kendall	17
7. Muestra poblacional (M).....	18
8. Factor de posición	20
9. Precipitación Probable 75 %	20
10. Precipitación efectiva cuando P75 es menor a 250 mm.....	21
11. Precipitación efectiva cuando P75 es mayor a 250 mm.....	21
12. Evapotranspiración de referencia	21
13. Evapotranspiración real del cultivo.....	22
14. Balance Hídrico.....	23

LISTA DE ANEXOS

ANEXOS	PÁG.
1. Descripción de los escenarios.	67
2. Encuesta	69
3. Fotografías de las zonas encuestadas.	72

ABREVIATURAS

BH	Balance Hídrico (mm día^{-1})
DMQ	Distrito Metropolitano de Quito
ENOS	El Niño - Oscilación del Sur
Eo	Evaporación del agua (mm día^{-1})
ET	Evapotranspiración (mm día^{-1})
ETo	Evapotranspiración de referencia (mm día^{-1})
ETp	Evapotranspiración potencial (mm día^{-1})
ETr	Evapotranspiración real o de cultivo (mm día^{-1})
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
GAD	Gobierno Autónomo Descentralizado
HR	Humedad Relativa (%)
ICID	Comisión Internacional de riego y drenajes
INAMHI	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología
INEC	Instituto Nacional de Estadística y Censos
INIAP	Instituto Nacional de Investigación Agropecuarias
IPCC	Grupo intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático
Kc	Coefficiente de Cultivo
MAE	Ministerio del Ambiente
MAG	Ministerio de Agricultura y Ganadería
MS	Materia Seca
MK	Mann Kendall
P	Precipitación (mm día^{-1})
P75%	Precipitación probable al 75% (mm día^{-1})
Pe	Precipitación efectiva (mm día^{-1})
PIB	Producto Interno Bruto
SIPA	Sistema de información Pública Agropecuaria
Tmax	Temperatura máxima ($^{\circ}\text{C}$)

ABREVIATURAS

Tmin	Temperatura mínima (°C)
UPA	Unidad Productiva Agropecuaria
USDA	Departamento de Agricultura de los Estados Unidos
ZCIT	Zona de Convergencia Intertropical

TÍTULO: Determinación de las fechas de siembra de tres cultivos al temporal, con base en el Kc del cultivo y el agua disponible en Tumbaco.

Autora: Karina Estefanía Limaico Quinteros

Tutor: Randon Stalin Ortiz Calle

RESUMEN

Una de las medidas de adaptación al cambio climático es el estudio y análisis de las fechas de siembra para aprovechar al máximo las precipitaciones. El objetivo fue determinar las fechas de siembra para los cultivos de ciclo corto (fréjol, maíz y papa), a través del balance hídrico. Se analizó la variabilidad climatológica para la estación “La Tola”, así como, encuestas a agricultores y cálculos de ETr promedio y P75%. Resultados: se encontró tendencias decrecientes para Tmin y Eo y tendencias crecientes para HR; en los cultivos de fréjol y maíz, la fecha de siembra de mayor frecuencia es noviembre y para el cultivo de papa octubre; las fechas de siembra óptimas determinadas son: fréjol en febrero, maíz y papa en enero. Conclusiones: se determinó una variación climatológica en Tmin, Eo y HR; las fechas de siembra del agricultor se mantienen por tradición aunque aceptan que existe un cambio climático; considerando el balance hídrico, existen mejores fechas de siembra que las del agricultor con una mayor disponibilidad hídrica.

PALABRA CLAVE: AGRICULTURA DE SECANO / VARIABILIDAD DEL CLIMA / EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL / BALANCE HÍDRICO / FECHA DE SIEMBRA

TITLE: Determination of the planting dates for three crops under rainfed agriculture, based on the Kc of the crop and the available rainfall in Tumbaco.

Author: Karina Estefanía Limaico Quinteros

Tutor: Randon Stalin Ortiz Calle

ABSTRACT

One of the measures for adaptation to climate change is the study and analysis of planting dates to use the total rainfall. The main objective was to determine the planting dates for crops through the water balance. The climatological variability for "La Tola" station was analyzed, as well as, farmer's surveys and computations of ETr and P75%. The results: there were decreasing trends for minimum temperature and evaporation and increasing trends for relative humidity; in beans and corn crops, the farmer's more frequent planting date were November and potato in October; the optimal planting dates for beans crop was February, and for corn and potato crops in January. The conclusions: a climatological variation was determined in the area; the farmer's planting dates currently take place by tradition, although they accept there is a climate change; considering the water balance, there were better planting dates with greater rainfall availability than the farmer's planting dates.

KEYWORDS: RAINFED AGRICULTURE / CLIMA VARIABILITY / REAL EVAPOTRANSPIRATION / WATER BALANCE / PLANTING DATES

CERTIFICACIÓN

En calidad de tutor de trabajo de graduación cuyo título es **“Determinación de las fechas de siembra de tres cultivos al temporal, con base en el Kc del cultivo y el agua disponible en Tumbaco”** presentado por la **Señorita Limaico Quinteros Karina Estefanía** , previo a obtención del Título de Ingeniera Agrónoma, certifico haber revisado y corregido el ABSTRACT para el trabajo de Grado, aprobado el mismo, después de realizadas las observaciones por los miembros del tribunal, por lo que apruebo el mismo, para el empastado final.

M.Sc. Randon Stalin Ortiz Calle

DOCENTE-TUTOR

I. INTRODUCCIÓN

La agricultura de temporal es una práctica agrícola que consiste en aprovechar los recursos hidrológicos como las precipitaciones (Loyer *et al.*, 1993). La agricultura en el Ecuador cumple varios papeles muy importantes, como la generación de empleo, eje principal de la seguridad alimentaria y en ámbitos económicos, entre 2010 - 2016 representó niveles de 8 % al 9 % del PIB, ocupando el sexto puesto entre los sectores que aportan en la economía del país (Badillo, 2018). Además, hoy en día la agricultura de temporal forma parte de la producción predominante en el mundo y en el Ecuador. El costo para la implementación de cultivos con sistemas de riego es elevado, por cuanto, la seguridad alimentaria, la disminución de la pobreza y desnutrición, dependen por el momento de la agricultura al temporal.

La agricultura en general siempre presenta daños por condiciones climáticas y es uno de los principales problemas determinantes del crecimiento, la productividad agrícola y el rendimiento (Altieri & Nicholls, 2013). Sin embargo, Reddy & Syme (2015), concluyeron que la agricultura de temporal es la más afectada a causa de la variabilidad climática, temperatura elevada, cambios en la precipitación y entre otros fenómenos naturales. Cadilhac *et al.* (2017), afirman que el Ecuador es un país con una alta vulnerabilidad climática por ubicarse en la zona del trópico y el clima está definido por las corrientes marinas cálidas y frías del Océano Pacífico, la presencia de la cordillera de los Andes y la influencia de la humedad procedente de la Amazonía.

La parroquia de Tumbaco desde la década de 1950 fue una de las principales zonas productoras de alimentos de la sierra ecuatoriana y su clima favorable permitía que se cultive una gran variedad de alimentos, pero la variabilidad climática ha influido en el desarrollo de la agricultura al temporal (Males, 2015).

El objetivo de la investigación fue el de presentar una estrategia de adaptación a la variabilidad climática a través de fechas de siembra óptimas para los cultivos de fréjol, maíz y papa, que permitan al agricultor aprovechar al máximo las precipitaciones durante las etapas fenológicas cruciales de los cultivos, además, a través de la encuesta conocer la fecha de siembra de mayor frecuencia de los agricultores y su percepción sobre el cambio climático, paralelamente, se analizó las tendencias de cinco variables climatológicas: Temperatura mínima y máxima, Humedad Relativa, Evaporación del Tanque y Precipitación de la estación “La Tola”.

Objetivos

Objetivo General

Determinar las fechas de siembra de tres cultivos al temporal, con base en el Kc del cultivo y el agua disponible en Tumbaco.

Objetivos Específicos

- Conocer la variabilidad climatológica que está ocurriendo en la Parroquia de Tumbaco.
- Determinar la fecha de siembra de mayor frecuencia utilizada por los agricultores en cultivos de ciclo corto en la Parroquia de Tumbaco.
- Determinar el efecto de la variabilidad climatológica en la siembra al temporal de los cultivos de ciclo corto: fréjol, maíz y papa.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Agricultura de temporal

La agricultura de temporal es una actividad que depende y debe aprovechar los recursos hídricos como las precipitaciones durante todo el ciclo del cultivo (Loyer *et al.*, 1993). Los territorios donde se encuentra este tipo de agricultura son zonas agroecológicas áridas o semiáridas del mundo y se les considera zonas frágiles donde se encuentra la población rural marginal (Devendra, 2016).

Existen evidencias que muestran que la agricultura de temporal se desarrolló en gran medida desde los años 1 400 D.C. y su mayor intensificación a nivel mundial fue en el año 1650; Vitousek *et al.* (2010), mencionan que recayó el sistema con la llegada de la revolución verde en el siglo XX impulsado por el desarrollo y la necesidad de rendimientos más altos. Pero cabe recalcar que la agricultura de temporal tiene su crucial importancia ya que protege la seguridad alimentaria de cada país y el mundo (Devendra, 2016).

Se conoce que la agricultura de temporal representa el 75 % de superficie cultivada (Reddy & Syme, 2015) y genera alrededor del 70 % de los alimentos básicos en el mundo, a pesar de su importancia, un tercio de la población mundial vive y cultiva en zonas al temporal poco favorables. Estudios más recientes han evidenciado que 1.75 billones de hectáreas en el mundo son cultivos al temporal en el último milenio (Sharma *et al.*, 2010).

En el Ecuador, la superficie agropecuaria es de 4 872 049.88 ha, de las cuales la superficie sin riego representa el 78.62 %, es decir agricultura de temporal (INEC, 2017). Estas zonas son explotadas por pequeños agricultores, que en muchos de los casos sus suelos no tienen aptitudes agrícolas (MAE, 2013).

La mayoría de los países dependen de la agricultura al temporal debido a que la dieta de la población mundial está compuesta por granos y muchos de estos cultivos se producen al temporal. Desde una perspectiva global la producción agrícola es menor en áreas al temporal que en áreas con sistema de riego, en los países en desarrollo, el rendimiento de granos al temporal promedian 1.5 t ha⁻¹, comparado con 3.1 t ha⁻¹ con agricultura bajo riego (Oweis *et al.*, 2007).

2.2. Cultivos

2.2.1. Fréjol

El Fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.) es considerado uno de los cultivos nativos de América y del Ecuador, es una leguminosa perteneciente a la familia de las Fabáceas y es una de las principales fuentes de proteína, fibra y carbohidratos. Para algunas zonas Andinas del Ecuador esta leguminosa es parte de la dieta diaria por su accesible valor, además, es una fuente de ingreso

para los pequeños y medianos agricultores por la amplia comercialización (Garcés, 2013).

En el Ecuador existen diferentes variedades de fréjol que pueden ser arbustivas o volubles estas últimas son especialmente utilizadas por los agricultores ya que pueden asociarle con maíz y calabaza, creciendo en un sinergismo, aprovechando el espacio y manteniendo la humedad del suelo ya que en los territorios donde se suele producir son suelos poco productivos sin ningún manejo agronómico y bajo condiciones al temporal (Carrillo, 2014).

La superficie sembrada en el Ecuador en el 2017 para fréjol seco fue de 34 469 ha, fréjol tierno 18 616 ha, superficie cosechada de igual manera 30 130 ha para fréjol seco y 17 484 ha fréjol tierno con un rendimiento de 0.64 t ha⁻¹ y 1.17 t ha⁻¹, respectivamente. En la provincia de Pichincha, la superficie sembrada para fréjol seco en el mismo año fue de 972 ha y la superficie cosechada de 922 ha con un rendimiento de 0.53 t ha⁻¹ y para fréjol tierno la superficie sembrada fue de 470 ha con una superficie cosechada de 410 ha y con un rendimiento de 0.68 t ha⁻¹ (SIPA, 2017).

La fecha de siembra del cultivo de fréjol depende mucho de las condiciones agroclimáticas, para esta leguminosa suelen iniciar en los meses de septiembre a noviembre cuando se inician las precipitaciones. El ciclo de cultivo varía de 100 a 120 días (Figura 1), siendo las fechas de cosecha entre de diciembre y febrero (Matute, 2013).

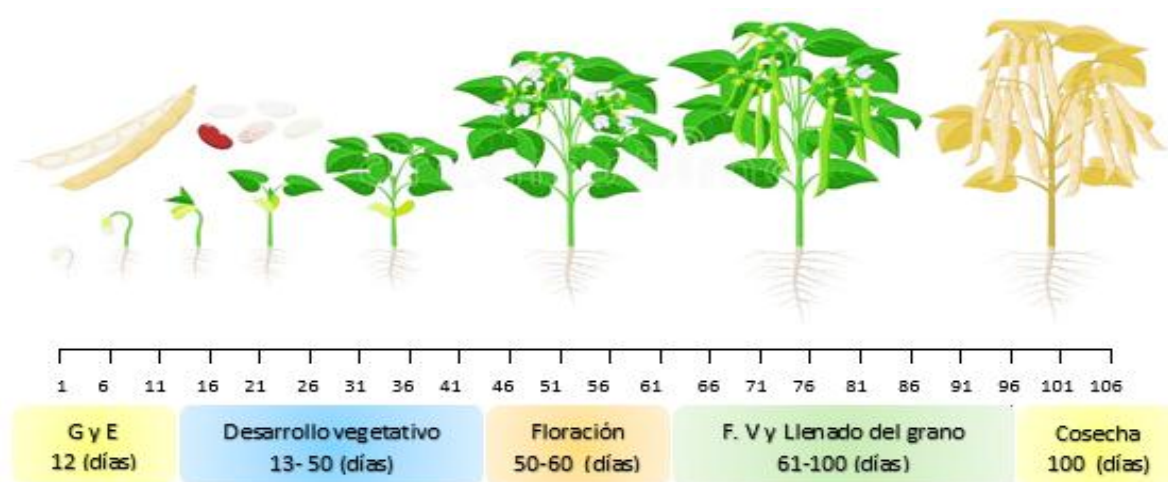


Figura 1. Etapas fenológicas del cultivo de fréjol. G y E = Germinación y Emergencia; F.V = Formación de la vaina. Fuente: (Matute, 2013).

El agua es tan importante para el crecimiento de cualquier planta, en este caso para completar el ciclo del cultivo de fréjol se necesita alrededor de 350 - 600 mm de agua para completar su ciclo vegetativo. La falta de agua afecta al número de flores, formación y llenado de vainas, limitando el rendimiento; pese a ello, algunas variedades de fréjol han desarrollado algunos mecanismos de tolerancia a condiciones de estrés por sequía (Carrillo, 2014).

2.2.2. Maíz

El maíz (*Zea mays* L.) es uno de los cultivos más conocidos y con mayor área sembrada en todo el mundo, sin mencionar que cada año se incrementa el área de producción. El rendimiento del cultivo de maíz al temporal varía por regiones, para América del sur es de 3.0 t ha^{-1} (Marothia, 2009). En el Ecuador antes de la década de 1970 era uno de los cultivos más importantes ya que era parte fundamental de la economía del país, ahora forma parte de la cultura y de las tradiciones de los pueblos de todo el Ecuador, por ello, el maíz se considera fundamental para la seguridad alimentaria (Baca, 2016).

En el Ecuador, la superficie sembrada para el 2017 de maíz suave (choclo) fue de 24 042 ha y para maíz seco de 65 849 ha, superficie cosechada 22 241 ha y 59 610 ha, con un rendimiento de 3.15 t ha^{-1} y 0.84 t ha^{-1} , respectivamente. En la provincia de Pichincha, la superficie sembrada de maíz suave (choclo) 3 499 ha, para maíz seco 4 559 ha, superficie cosechada de 3 309 ha y 3 947 ha y con un rendimiento de 2.86 t ha^{-1} y 1.04 t ha^{-1} respectivamente (SIPA, 2017).

La fecha de siembra del maíz en el país depende de la variedad a utilizar y la zona donde se va a cultivar, el promedio del ciclo del cultivo varía de 6 a 7 meses (Figura 2). En la sierra ecuatoriana, la siembra se realiza en los meses de octubre y noviembre para aprovechar las precipitaciones en la germinación y en la formación de la mazorca, la cosecha se realiza en los meses de abril hasta el mes de junio (MAGAP, 2014).

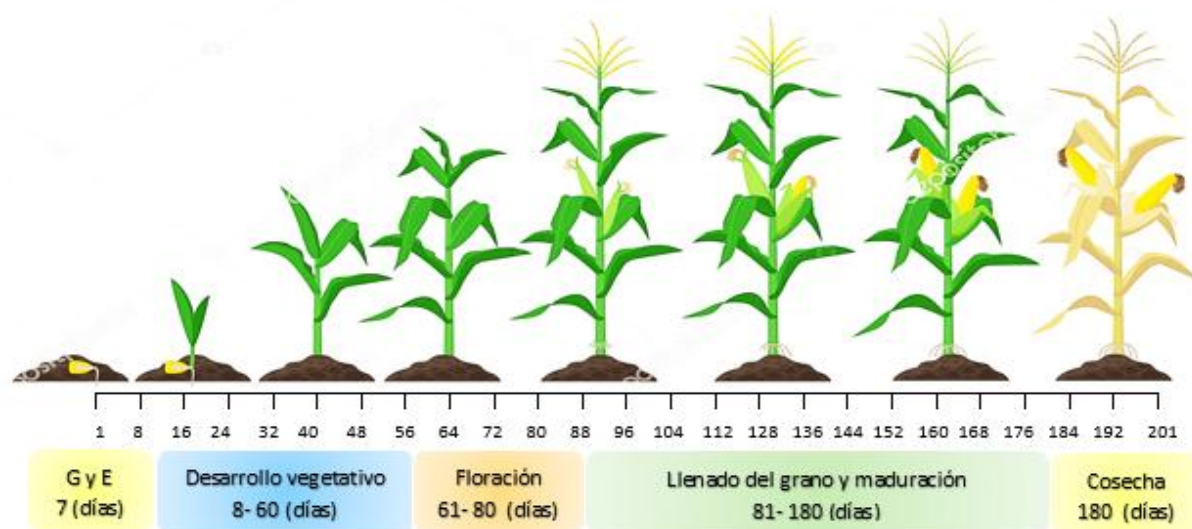


Figura 2. Etapas fenológicas del cultivo de maíz. G y E = Germinación y Emergencia Fuente: (Oñate, 2016).

El agua constituye entre el 80% y 95% del componente celular de los tejidos en crecimiento ya que sirve de solvente, medio de transporte, generadora de turgencia y reguladora de la

temperatura por transpiración, además, es necesaria para los procesos fisiológicos que ocurren desde la siembra hasta la madurez fisiológica de la planta, por lo tanto, durante éste período el cultivo de maíz requiere entre 400 y 650 mm de agua bien repartidos en todo el ciclo del cultivo (Basantes, 2015).

2.2.3. Papa

En el Ecuador, la papa (*Solanum tuberosum* L.) es uno de los principales productos involucrados en las actividades agrícolas y cumple una función muy importante en la generación de ingresos económicos en zonas rurales, estas zonas suelen disponer de algunas variedades nativas que se cultivan en superficies pequeñas donde solo sirven para consumo familiar y las variedades mejoradas las cuales se cultivan de manera extensiva con superficies de mayor tamaño son parte de la comercialización, de todas formas el consumo de este tubérculo ha llegado a ser parte de la dieta diaria de los ecuatorianos, sin mencionar los aportes nutricionales que contiene (INIAP-CIP, 2002).

La papa en el 2017 contó con una superficie sembradas en el Ecuador de 32 188 ha y de una superficie cosechada de 29 532 ha con un rendimiento de 12.77 t ha⁻¹. En la provincia de Pichincha para el mismo año, contó con una superficie sembrada de 5 709 ha y una superficie cosechada de 5 403 ha con un rendimiento de 18.86 t ha⁻¹ (SIPA, 2017).

La fecha de siembra para este tubérculo a nivel nacional va desde el mes de noviembre hasta el mes de diciembre, la fecha de cosecha depende de la temperatura y la altitud de la zona donde se cultive el tubérculo, en muchos casos el ciclo vegetativo puede durar de 4 a 5 meses (Figura 3; Monteros, 2016).

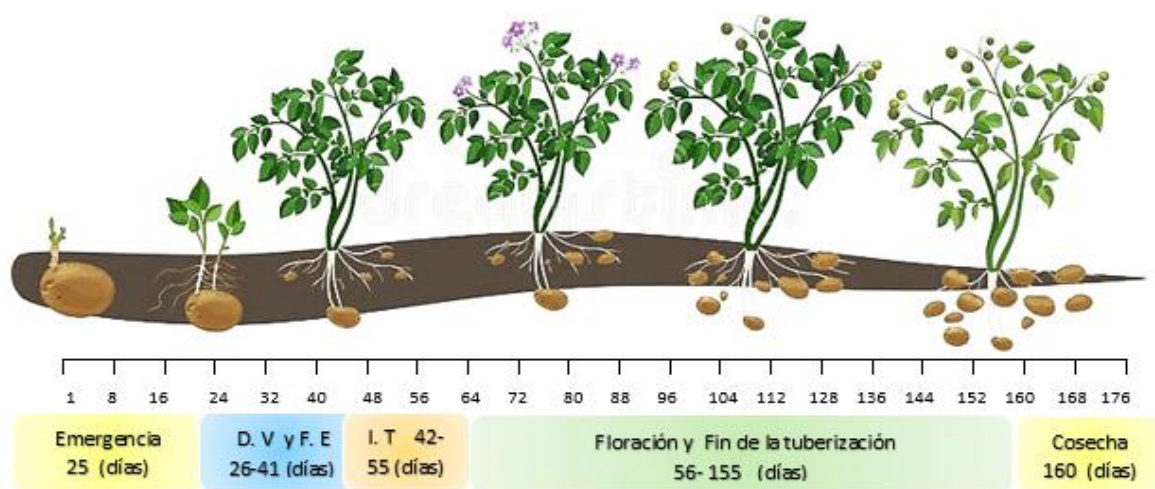


Figura 3. Etapas fenológicas del cultivo de papa. D. V = Desarrollo vegetativo; F.E = Formación de estolones; I.T= Inicio de la Tuberización. Fuente: (Flores, Flores, & Ojeda, 2014).

El cultivo de papa en las condiciones de la sierra necesita un promedio de 700 a 800 mm de agua distribuidos en todo el ciclo del cultivo, cuando se cultiva en verano es importante mantener el suelo húmedo con riegos frecuentes y ligeros, especialmente en la época de floración y tuberización (INIAP-CIP, 2002). Al estar los suelos secos y con un bajo contenido de humedad en el aire, el cultivo de papa presenta ramificaciones en rizoma, estos se alargan demasiado provocando un mayor número de tubérculos pero pequeños. El déficit hídrico en el cultivo de papa se manifiesta por el amarillamiento y marchitamiento de las hojas, crecimiento lento, maduración precoz, y reducción del rendimiento (Basantes, 2015).

2.3. Cambio Climático

El cambio climático es un problema en el mundo y se cree que por causa de las variaciones constantes y duraderas de los patrones del clima dentro de zonas, regiones o a nivel global, dichas variaciones son debido a la influencia de los seres humanos o por las interacciones de los procesos naturales del planeta tierra con el sistema solar y el universo (Badillo, 2018). Estas influencias provocadas por el hombre se refieren a la emisión de gases de efecto invernadero, aumento de CO₂ en la atmósfera y a la degradación del suelo, que han provocado el desequilibrio de ecosistemas, de la biodiversidad y de las actividades antrópicas (Feldman, 2016).

Según Ye *et al.* (2013), la temperatura global de la superficie terrestre se ha incrementado en 0.8 °C durante el siglo pasado y cuatro tercios de este aumento se produjeron en las tres últimas décadas, así mismo, los informes (IPCC) indican claramente que la temperatura seguirá incrementándose en el futuro.

La precipitación y su distribución temporal es una de las variables más importantes en la agricultura, los cambios en la precipitación y sus dinámicas dependen mucho de la región y de la altitud, por lo tanto, existen regiones con una tendencia creciente o decreciente. Las proyecciones sobre el cambio climático en el siglo XXI con modelos globales muestran un aumento general en la intensidad de las lluvias extremas, excepto algunas en las regiones en los subtrópicos (O’Gorman, 2015).

La alta variabilidad de las condiciones climáticas han provocado cambios en procesos ambientales que están influenciados por las condiciones térmicas de la humedad del suelo, por lo tanto, al tener un déficit de humedad en el suelo existe un riesgo más amplio de marchitamiento de la vegetación a causa del aumento de la evaporación y la disminución de la humedad en el suelo (Riediger *et al.*, 2014).

Por ello, la adaptabilidad frente a la variación climática es una medida ya implementada en varios países del mundo, ya que la agricultura debe ser sostenible en el futuro y debe ser altamente

productiva en condiciones adversas y marginales, así mismo, los sistemas agrícolas se encuentran bajo una presión cada vez más fuerte debido a que deben proveer el alimento para una población humana en constante crecimiento (Altieri *et al.*, 2015).

2.3.1. Variabilidad climática

La variabilidad climática es aquella donde el clima presenta fluctuaciones o ciclos en diferentes años y con diferente duración (IDEAM-UNAL, 2018). Y se evidencia en períodos cortos de tiempo a causa de fenómenos temporales y transitorios que generan un comportamiento anormal del clima en días hasta décadas. La relación que existe entre el cambio climático y variabilidad climática es directa, por lo que se puede señalar que el cambio climático vuelve más intensos a los fenómenos de la variabilidad climática (Alzate *et al.*, 2015). Los fenómenos que producen estos cambios son huracanes, perturbaciones tropicales, olas de frío y calor, eventos de los cuales se pueda producir precipitaciones excesivas y sequías prolongadas; tales fenómenos están involucrados con el ENOS (FAO, 1997).

2.4. Balance Hídrico

El Balance hídrico (BH) es el análisis hidrológico de las entradas y salidas en un sistema tridimensional suelo-planta-clima para determinar el exceso (drenaje) y déficit (riego) en un período de tiempo específico (Burt, 1999). Las entradas comprenden: la precipitación, el ascenso capilar y la lámina de agua aplicada mediante riego; las salidas incluyen: la evaporación del agua desde el suelo, la transpiración desde las plantas, la percolación profunda y la escorrentía superficial (FAO, 1989).

El balance hídrico es importante para la conservación del agua, permite determinar la cantidad de agua necesaria que se debe aplicar al suelo para compensar el déficit de humedad durante el ciclo vegetativo del cultivo (Allen *et al.*, 2006). En la agricultura, el riego es un factor limitante, en muchos casos esto se debe a una mala distribución y programación del riego, el mejorar la programación del riego nos permite reducir el estrés hídrico en las plantas, aumentando la tasa de transpiración y por lo tanto obtener un mejor rendimiento. El análisis del balance hídrico tiene límites de tiempo, lo que significa que los valores cambian de un año a otro (Burt, 1999).

2.4.1. Evapotranspiración de referencia

La evapotranspiración de referencia (ET_o) se define como la tasa de evapotranspiración de un cultivo hipotético sin restricción de agua, sin enfermedades y el suelo completamente sombreado muy parecida a una superficie extensa de pasto verde con altura uniforme que crece activamente (Irmak & Haman, 2003).

Esta definición de ETo se introdujo a los principios de la década de 1980 para evitar confusiones entre la evapotranspiración potencial (ETp). La ETo se utiliza para estudiar la demanda de evapotranspiración de la atmósfera independientemente del manejo que tenga el cultivo, los factores del suelo y el estado de desarrollo del mismo (FAO, 2006).

La adopción del término ETo ha ayudado a seleccionar los coeficientes de cultivo y calibrar las ecuaciones correspondientes para zonas con climas específicos, además, se recomienda utilizar la definición de ETo de césped para la planificación de riego o gestión de riegos y para estudios hidrológicos, vale mencionar que los parámetros climáticos son los únicos factores que pueden llegar a afectar a la ETo (Irmak & Haman, 2003).

2.4.2. Coeficiente del cultivo

El coeficiente de cultivo (Kc) es el resultado del efecto de la relación entre suelo-agua-planta y se utiliza para determinar el requerimiento hídrico de los cultivos. El coeficiente Kc varía principalmente en el desarrollo, densidad, fechas de siembra, métodos de riego, características específicas del cultivo y el clima, por esta razón los coeficientes Kc suelen estandarizarse en regiones con climas similares, sus valores oscilan entre 0.3 y 1.3 llegando a alcanzar su máximo valor cuando el cultivo llega a tener una cobertura aproximada del 70 % (FAO, 2006).

El coeficiente Kc varía durante el período de crecimiento de un cultivo por efecto de la altura, área foliar, cobertura del suelo, diferencias en el albedo, algunas características de las hojas y estomas (Kisekka *et al.*, 2013). Por estas variaciones, al coeficiente Kc se lo ha dividido por períodos de crecimiento de los cultivos en cuatro fases o etapas: inicial, desarrollo, mediados y la fase final (Figura 4).

Fase inicial: esta etapa comprende desde la germinación hasta cuando el cultivo alcanza una cobertura de suelo de un 10 %, el tiempo que dure esta etapa tiende a variar debido a la fechas de siembra, clima y del cultivo (FAO, 2006).

Fase de desarrollo del cultivo: inicia cuando el cultivo ha alcanzado un 10 % de cobertura de suelo y finaliza cuando llega a la cobertura efectiva, ésta suele ocurrir a inicios de la etapa de floración o cuando las hojas comienzan a traslaparse en cuanto se refiere a cultivos de ciclo corto, produciendo un sombreado casi total del suelo (punto máximo de consumo de agua) (FAO, 2006).

Fase de mediados de temporada: comprende desde la cobertura efectiva hasta el inicio de la madurez, donde existe amarillamiento y senescencia de las hojas bajas, además, cambios en la coloración de los frutos maduros. Esta es una de las fases más reducida para los cultivos de ciclo corto ya que en ocasiones se los cosecha en vaina y aun verde. El coeficiente Kc en este punto llega a alcanzar su valor máximo (FAO, 2006).

Fase final del período: comprende desde el inicio de la etapa de maduración hasta el momento de la cosecha, en algunas ocasiones suele ser la senescencia completa de la planta el final de la fase (FAO, 2006).

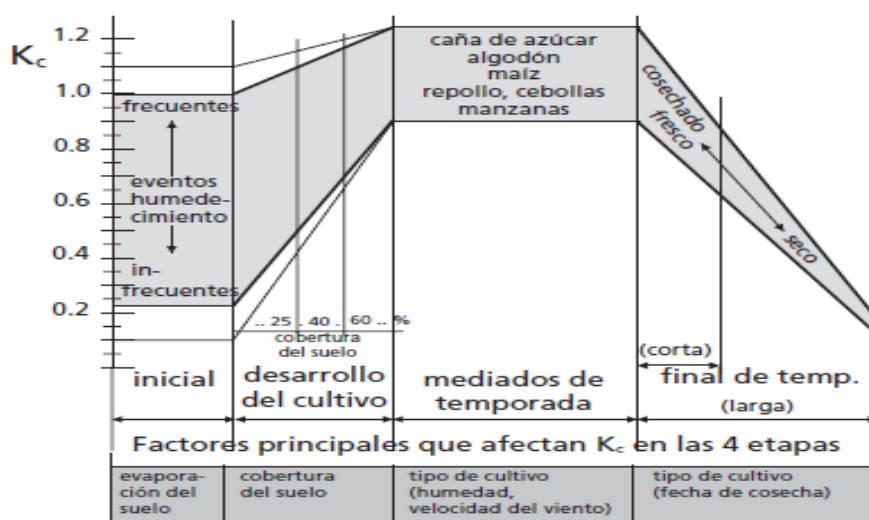


Figura 4. Representación de los rasgos típicos del coeficiente K_c , fases de crecimiento. Fuente: (FAO, 2006).

2.4.3. Evapotranspiración real

La evapotranspiración real (E_{Tr}) es la cantidad de agua, que es efectivamente evaporada desde la superficie del suelo y traspirada por la cubierta vegetal. El valor de E_{Tr} es el producto entre el coeficiente K_c y la E_{To} , por tanto, es un coeficiente que manifiesta la diferencia entre la evapotranspiración de la superficie de pasto de referencia y la superficie cultivada, donde se integran los efectos de las condiciones del tiempo atmosférico que proporciona la E_{To} y las características del cultivo que proporciona el coeficiente K_c (FAO, 2006).

2.4.4. Precipitación

La precipitación (P) es la cantidad de agua que cae en una superficie, en la mayoría de casos representa el único aporte de agua en el suelo, dando origen a todas las corrientes superficiales o profundas (Cleves, Toro, & Martínez, 2016).

En la atmósfera siempre existe humedad y por lo tanto la precipitación proviene de la misma, para que sucedan precipitaciones es necesario que se enfríe el aire lo suficiente para que alcance el punto de saturación. Los enfriamientos de grandes cantidades de masas de aire son necesarios para que se produzca cantidades significativas de precipitación (Seegerer & Villodas, 2006). La precipitación en la superficie del suelo es interceptada por las plantas, llegando a ser la principal fuente de agua para la producción agrícola (FAO, 1978).

2.4.5. Precipitación efectiva

La precipitación efectiva (Pe) forma parte de la precipitación total, pero como su término lo indica es el agua útil para las plantas ya que satisfacer gran parte del requerimiento hídrico del cultivo, dejando aparte el agua que se infiltra, que genera escorrentía y la que está en la superficie y se evapora (Cleves *et al.*, 2016).

La precipitación debe contar con características especiales para que pueda ser aprovechada por los cultivos como: cantidad, frecuencia e intensidad, dichas características cambian constantemente por la fecha, día u hora. Existen varias definiciones de Pe según el uso, para la agricultura de temporal la Pe es el agua que se almacena en el barbecho y se conserva para utilizarla en otro ciclo de cultivo. Manejar los conceptos de precipitación efectiva permite aprovechar y planificar las prácticas agrícolas para luego si existiera un déficit hídrico se complementaría con riego (FAO, 1978).

2.5. Humedad relativa

La humedad Relativa (HR) es el grado de saturación del aire, se manifiesta como el cociente entre la cantidad de agua que contiene el aire a una temperatura y la cantidad que puede contener cuando se encuentra en saturación; la HR al ser adimensional se representa en porcentaje. La humedad relativa depende de la temperatura del aire, ya que si esta cambia, pues la humedad relativa también cambiará (FAO, 2006).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Características del sitio experimental

La presente investigación se realizó en la Parroquia de Tumbaco, ubicada al Nororiente del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ).

3.1.1. Ubicación política del sitio experimental

- Provincia: Pichincha
- Cantón: Quito
- Parroquia: Tumbaco
- Altitud: 2 480 msnm
- Superficie: 65.49 km²

Fuente: (GAD, 2015)

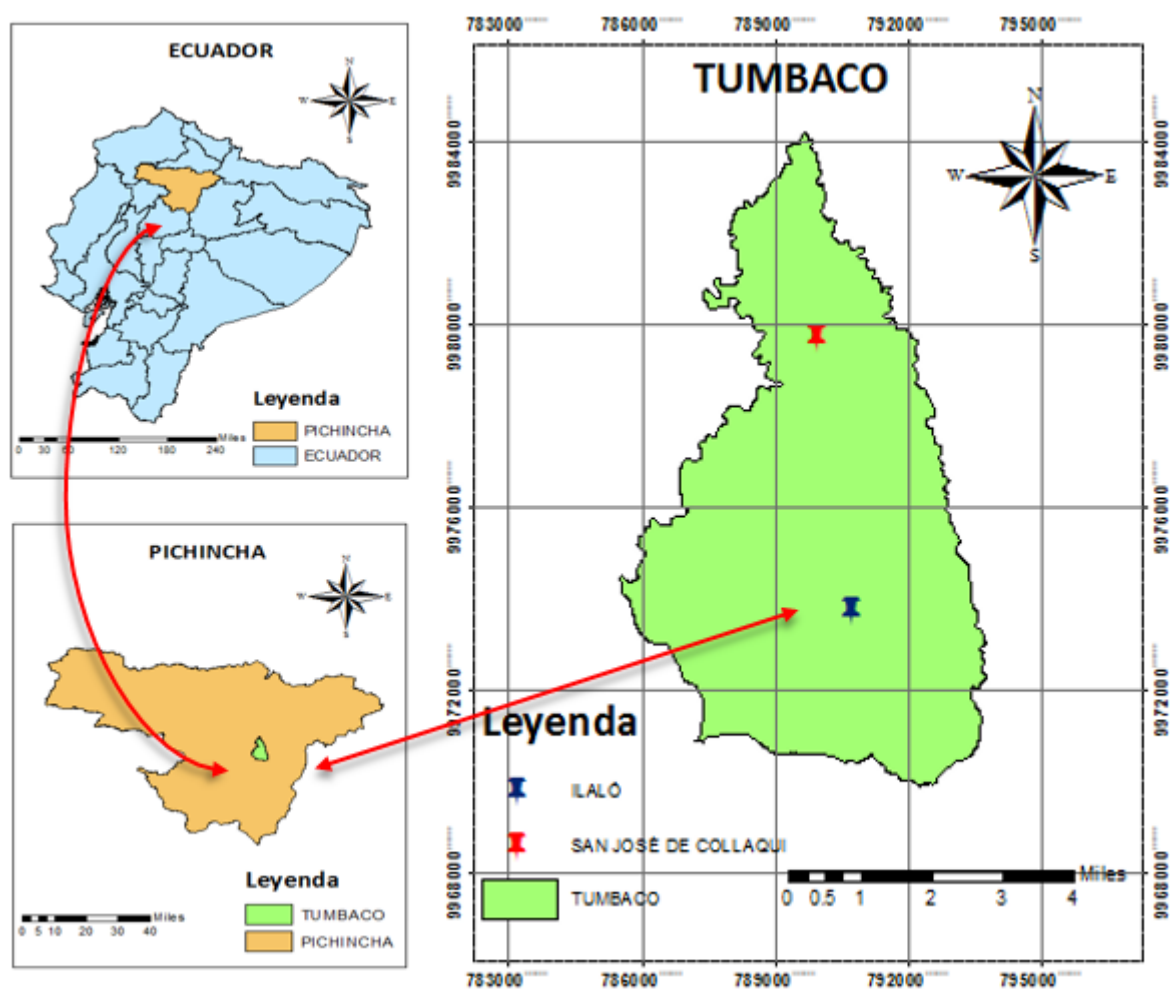


Figura 5. Ubicación de la zona de estudio, Tumbaco – Pichincha

3.1.2. Condiciones agroclimáticas de la parroquia de Tumbaco

- Temperatura promedio anual (°C): 16.22
- Precipitación promedio anual (mm): 848.79
- Humedad relativa promedio anual (%): 74.24

Fuente: (INAMHI, 2018)

3.2. Materiales

Se utilizó la siguiente información:

- Serie histórica mensual promedio (1988 – 2017, 30 años) de humedad relativa, temperatura máxima, temperatura mínima, evaporación y precipitación de la estación meteorológica “La Tola”.
- Serie histórica (1981 – 2017, 36 años) de evaporación y precipitación diaria de la estación meteorológica “La Tola”.
- Información técnica sobre los cultivos: ciclo vegetativo y fechas de siembra del agricultor.
- Encuestas a los agricultores de la parroquia Tumbaco, zona de Ilaló y San José de Collaqui (agricultura de temporal).
- Valores del Coeficiente de cultivo (Kc) de fréjol, maíz y papa recomendados por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), a través de su publicación técnica N° 56.

3.3. Métodos

3.3.1. Recolección de datos

La serie de datos analizados incluidos en la investigación, fueron recolectados de la estación meteorológica M0002 “La Tola” (INAMHI) ubicada en la parroquia de Tumbaco, en las siguientes coordenadas: latitud 00° 13’ 46” S y longitud 78° 22’ 0” O a 2 480 msnm. Los parámetros meteorológicos fueron: Temperatura mínima (°C), Temperatura máxima (°C), Humedad relativa (%), Evaporación (mm) Precipitación (mm).

3.3.2. Análisis de las variables climatológicas

Todos los parámetros climáticos fueron sometidos: análisis de estadísticas descriptivas y análisis de tendencia.

Para el análisis estadístico se determinó la media ($\bar{x}$), mínima (Mín), la máxima (Máx), desviación estándar (D.E) y el coeficiente de variación (C.V.).

➤ **Ecuación 1.** Media ($\bar{x}$)

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Donde:

X_i = Suma de todos los valores de la serie histórica

n = Número total de datos

➤ **Ecuación 2.** Desviación estándar (S)

$$s = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Donde:

X_i = Valores mensuales individuales de toda la serie histórica

$\bar{x}$ = Media aritmética

n = Número total de datos

Los valores de desviación estándar señalan la dispersión promedio de los valores mensuales de las variables climatológicas, con respecto a su promedio. Una desviación estándar baja indica que la mayor parte de los datos tienden a estar agrupados cerca de la media y una desviación estándar alta indica que los datos se extienden sobre un rango de valores más amplio (Aldo, 2015).

➤ **Ecuación 3.** Coeficiente de variación (C.V)

$$C.V = \frac{S}{\bar{x}} \times 100$$

Donde:

S = Desviación estándar

$\bar{x}$ = Media aritmética

Los valores del coeficiente de variación deben ser menores al 20 % para que los datos sean confiables y se puedan utilizar los datos promedios de la serie histórica (Otero, 2010). Además, para utilizarlos en cálculos hidrológicos (balance hídrico, evapotranspiración de referencia, entre otros), deben ser homogéneos (varianzas en común), independientes (las observaciones no estén correlacionadas en la serie a lo largo del tiempo) y confiables (Dahmen & Hall, 1990).

3.3.3. Método estadístico de tendencias

El test estadístico Mann Kendall (MK), es una prueba no paramétrica (contrastes que no necesitan establecer supuestos) desarrollada por Mann 1945 (Austria – Hungría) y ajustada por Kendall en 1975 (Inglaterra - Kettering), es un método recomendado por la Organización Mundial de Meteorología (Alencar da Silva *et al.*, 2017) el cual permite determinar tendencias lineales y no lineales (Shadmani, Marofi, & Roknian, 2012), se utiliza frecuentemente para análisis de significancia de tendencias en series de tiempo agrometeorológicas (Rojas *et al.*, 2010), hidrometeorológicas (Salmi *et al.*, 2002) y de calidad de agua (Casares & De cado, 2018).

Se utilizó este método debido a que no requiere que los datos climatológicos tengan una distribución normal, además, tiene baja sensibilidad a datos no homogéneos. De acuerdo con el método, la hipótesis nula H_0 asume que no hay tendencia y esta es analizada contra la hipótesis alternativa H_a la cual asume que si existe tendencia (De La Mora *et al.*, 2018).

El procedimiento para el análisis del método considera series de tiempo de n datos y X_j y X_i es la variable climatológica en estudio.

➤ **Ecuación 4.** Desviación estándar método Mann Kendall

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n (X_j - X_i)$$

Fuente: (Shadmani *et al.*, 2012)

Donde:

S = Desviación estándar

Xj = Variable en estudio (eje x)

Xi = Variable en estudio (eje y)

n = Número de datos

j = Datos de variable climatológica en el eje x

i = Datos la variable climatológica en el eje y

Luego de realizar la operación $X_j - X_i$, (X_j son los valores promedio mensuales de la variable climatológica en estudio de los (n) años de la serie histórica y X_i son los valores promedio mensual de la variable climatológica anual), obteniéndose las siguientes posibilidades de resultados:

$$(X_j - X_i) = \begin{cases} +1 & \text{si } (X_j - X_i) > 0 \\ 0 & \text{si } (X_j - X_i) = 0 \\ -1 & \text{si } (X_j - X_i) < 0 \end{cases}$$

Fuente: (Shadmani *et al.*, 2012)

Si el valor de la operación $X_j - X_i$ es positivo, significa que existe un incremento y si el valor es negativo un decremento.

El análisis de la serie total proporciona n valores positivos y n valores negativos, la diferencia entre estas dos cantidades proporciona la desviación estándar (Ecuación 1).

La varianza de S se calcula con la siguiente ecuación; para una serie de datos $n > 10$, el segundo término de la ecuación es igual a 0.

➤ **Ecuación 5.** Varianza método Mann Kendall

$$Var(S) = \frac{1}{18} \left[n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q tp(tp-1)(2tp+5) \right]$$

Fuente: (Shadmani *et al.*, 2012)

Donde:

Var (S) = Varianza de S (desviación estándar)

n = Serie de tiempo

q = Número de grupos unificados (un grupo unificado es un grupo de datos que tiene el mismo valor).

tp = Número de datos vinculados en la serie p

➤ **Ecuación 6.** Análisis normalizado Z parámetro Mann Kendall

$$Z = \begin{cases} \frac{s - 1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{si } S > 0 \\ 0 & \text{si } S = 0 \\ \frac{S + 1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{si } S < 0 \end{cases}$$

Fuente: (Shadmani *et al.*, 2012)

Donde:

Z = Parámetro de salida del test Mann Kendall

S = Desviación estándar

Var (S) = Varianza de la desviación estándar

La variable Z es una desviación de X en torno a la media medida en unidades de desviación estándar. Por tanto debe entenderse como la probabilidad de que X tome valores que se alejen de la media en más o menos una desviación estándar (Di Rienzo *et al.*, 2005).

Por lo tanto, los valores negativos de Z indican tendencia decreciente y los valores positivos de Z significan tendencia creciente de toda la serie histórica analizada. En este estudio se utilizó un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$, $Z_{\alpha/2} = 1.96$ (tabla t Student). Cuando los valores de $Z > Z_{1-\alpha/2}$ se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, donde se muestra una tendencia significativa (negativa o positiva) en la serie de datos, por lo tanto, se dice que $Z_{1-\alpha/2}$ es el valor crítico de Z (Shadmani *et al.*, 2012).

3.3.4. Fecha de siembra de los agricultores

Las fechas de siembra del agricultor se determinaron en base a encuestas (Anexo 2), a partir de la cual se seleccionaron las de mayor frecuencia.

➤ **Elaboración de la encuesta**

El método usado para esta investigación fue el método cuantitativo y cualitativo de recolección de información a través de la aplicación de una encuesta a los agricultores de la zona de Ilaló y san José de Collaqui.

➤ **Ecuación 7.** Muestra poblacional (M)

$$M = \frac{N \times Z^2(p \times q)}{d^2 \times (N - 1) + Z^2(p \times q)}$$

Donde:

N = Población

Z = Nivel de confianza

P = Probabilidad a favor

q = Probabilidad en contra

d = Precisión

La población es considerada el universo o conjunto de personas de interés en una investigación, mientras que una muestra es un subconjunto de la población o universo en la cual se lleva a cabo la investigación (López, 2004).

Para el proyecto se utilizó los siguientes datos: N = 114; Z = 1.96; p = 0.5; q = 0.5; d = 5%.

$$M = \frac{114 \times 1.96^2(0.5 \times 0.5)}{5^2 \times (114 - 1) + 1.96^2(0.5 \times 0.5)} = 88$$

Tabla 1. Número de agricultores encuestados por zonas

Zona	N° total de Agricultores	Tamaño de la muestra
Ilaló	64	48
San José de Collaqui	50	40
N° de la Población	114	-----
Muestra poblacional		88

Según la Tabla 1, se realizó un total de 88 encuestas.

3.3.5. Escenarios de estudio

Para la investigación se trabajó con 30 fechas de siembra determinadas por:

➤ **Variable 1: Cultivo**

Tres cultivos de ciclo corto al temporal (fréjol, maíz, y papa).

➤ **Variable 2: Meses**

Seis meses del año (septiembre, octubre, noviembre, diciembre, enero y febrero).

➤ **Variable 3: Fecha de siembra**

Cinco fechas de siembra empezando desde el 1^{ero} de cada mes, durante los seis meses ya establecidos.

Tabla 2. Descripción de los escenarios

Cultivos	Meses	Fecha de siembra
Fréjol Maíz Papa	Septiembre	1
	Octubre	7
	Noviembre	14
	Diciembre	21
	Enero	28
	Febrero	

Por ejemplo (Tabla 2), para el cultivo de fréjol se analizó cinco fechas de siembra (cada siete días del mes) desde los meses de septiembre a febrero (seis meses), dando un total de 30 escenarios de balance hídrico por cultivo (Anexo 1).

3.3.6. Precipitación Probable

Con este término se define a la precipitación que tiene cierto grado de probabilidad de ocurrencia, para llegar a estos valores, es necesario realizar los siguientes procedimientos:

1) Cálculo de la Precipitación media

2) Cálculo de la Precipitación probable

➤ **Cálculo de la Precipitación Media**

Se determinó la precipitación media, siendo el cociente entre la suma de los valores anuales para el número de años de la serie histórica.

➤ **Cálculo de la Precipitación Probable**

Para determinar la precipitación probable, la FAO recomienda trabajar con valores de precipitación con una probabilidad de ocurrencia del 75%, es decir, en un período de tiempo de

cuatro años, en tres de ellos se producirán valores mayores al estimado y solamente en un año se producirán valores menores al estimado. En otro sentido, en la serie histórica de datos de 36 años, durante 27 años se produjeron valores mayores a P75% y durante 9 años se registraron precipitaciones inferiores a P75 %; criterio que el agricultor asocia con años buenos y años malos de lluvia (FAO, 2006).

El factor de posición se calculó a partir del método propuesto por el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos.

➤ **Ecuación 8.** Factor de posición

$$Fa = \frac{100 \times (2n - 1)}{2m}$$

Donde:

Fa = Factor de posición

m = Número total de datos

n = Número de orden de eventos (precipitación)

Para determinar la precipitación con una probabilidad de ocurrencia al 75%, se realizó el siguiente procedimiento:

1. Enumerar los datos según la información de la serie histórica
2. Ordenar los datos de precipitación del mes en estudio de mayor a menor
3. Para cada mes, se determinó el factor de posición
4. Determinar la precipitación probable, interpolando los valores de probabilidad

➤ **Ecuación 9.** Precipitación Probable 75%

$$P_{75} \approx P_{Fa1} - \frac{(75 - Fa_1) \times (P_{Fa1} - P_{Fa2})}{Fa_2 - Fa_1}$$

Donde:

P75 = Precipitación probable 75%

PFa₁ = Precipitación para la frecuencia de posición inmediata superior a P75

PFa₂ = Precipitación para la frecuencia de posición inmediata inferior a P75

Fa₁ = Frecuencia de posición inmediata superior a P75

Fa₂ = Frecuencia de posición inmediata inferior a P75

3.3.7. Precipitación efectiva

La precipitación efectiva (P_e) es aquella parte de la precipitación total que es útil para las plantas. Para determinar la precipitación efectiva se utilizó el método desarrollado por la FAO:

- **Ecuación 10.** Precipitación efectiva cuando P_{75} es menor a 250 mm.

Si $P_{75} < 250$ mm

$$P_e \approx \frac{P_{75} \times (125 - 0.2 \times P_{75})}{125}$$

- **Ecuación 11.** Precipitación efectiva cuando P_{75} es mayor a 250 mm.

Si $P_{75} > 250$ mm

$$P_e \approx 125 + 0.1 \times P_{75}$$

3.3.8. Evapotranspiración de referencia

La evapotranspiración referencia (ET_o), se determinó por el método del tanque evaporímetro.

- **Método del Tanque Evaporímetro**

Este método determina la evapotranspiración de referencia a partir de un coeficiente derivado del tipo de instalación del tanque, el cual varía de 0.70 a 0.85 y la evaporación diaria. Para la estación “La Tola” el coeficiente promedio del tanque es de 0.72 (Ortiz *et al.*, 2018).

- **Ecuación 12.** Evapotranspiración de referencia

$$ET_o = k_p \times E_o \approx 0.72 \times E_o$$

Donde:

ET_o = Evapotranspiración de referencia, mm día⁻¹

k_p = Coeficiente del tanque evaporímetro

E_o = Evaporación diaria, mm día⁻¹

3.3.9. Coeficiente del cultivo

El coeficiente de cultivo se determinó por el método de la FAO boletín N° 56, el cual proporciona etapas de duración de cada fase del ciclo vegetativo (Tabla 3) y los valores de K_c para las etapas inicial mediados y final (Tabla 4).

Tabla 3. Duración de las etapas de crecimientos (días).

Cultivo	Total	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4
		Inicial	Desarrollo	Medio	Final
fréjol	100	25	25	30	20
maíz	180	30	50	60	40
papa	165	45	30	70	20

Fuente: (FAO, 2006)

Tabla 4. Valores del coeficiente único (promedio temporal) del cultivo.

Cultivo	Kc inicial	Kc media	Kc final
fréjol	0.4	1.15	0.35
maíz	0.7	1.2	0.6
papa	0.5	1.15	0.75

Fuente: (FAO, 2006)

3.3.10. Evapotranspiración real

La evapotranspiración real del cultivo (ET_r) es la combinación del agua transpirada por los cultivos y la evaporada directamente desde el suelo hacia la atmósfera y se calcula como el producto entre la evapotranspiración de referencia por el coeficiente de cultivo K_c (FAO, 2006).

➤ **Ecuación 13.** Evapotranspiración real del cultivo

$$ET_r = K_c \times ET_o$$

Donde:

ET_r = Evapotranspiración real del cultivo, mm día⁻¹

K_c = Coeficiente del cultivo

ET_o = Evapotranspiración de referencia, mm día⁻¹

3.3.11. Balance Hídrico

El balance hídrico (BH) permite conocer la variación del volumen de agua almacenado en el suelo a partir de la diferencia que existe entre los aportes y las salidas de agua que se producen en un sistema productivo.

➤ **Ecuación 14.** Balance Hídrico

$$BH = Pe - ETr$$

Donde:

Pe = Precipitación efectiva, mm día⁻¹

ETr = Evapotranspiración real, mm día⁻¹

3.3.12. Fechas de siembras óptimas

Se seleccionaron las fechas de siembra más óptimas a partir del balance hídrico diario, en el cual se verificó que la precipitación efectiva sea mayor a la evapotranspiración real diaria durante el ciclo vegetativo del cultivo y se consideró la distribución de la precipitación efectiva durante las etapas críticas de cada cultivo, en donde la planta necesita una mayor cantidad de agua.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Análisis de Variación Climática

4.1.1. Temperatura Mínima (Tmin)

Para la Estación Meteorológica M0002 “La Tola”, período mensual multianual de datos 1988 - 2017 (30 años), la temperatura mínima (Tmin) registrada fue: promedio histórico de 9.67 °C, siendo el rango de variación entre 6.7 °C y 12.4 °C (Figura 6).

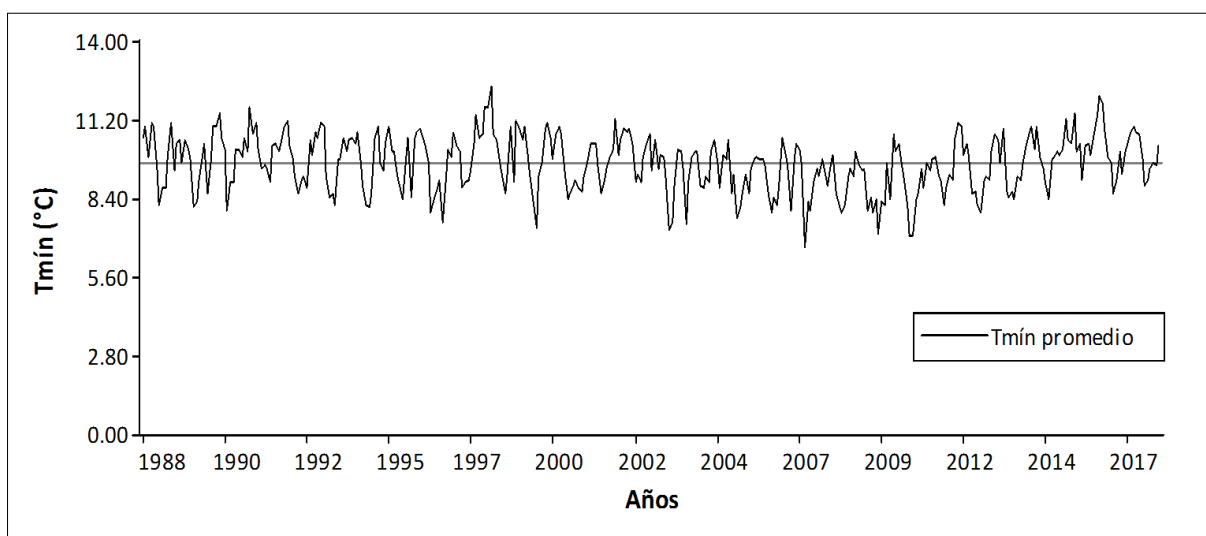


Figura 6. Temperatura mínima mensual multianual. Serie de datos 1988 - 2017. Fuente: (INAMHI, 2018). Estación meteorológica “La Tola”.

La Tmin promedio mensual (Figura 7) de la serie histórica de datos presentó los siguientes valores, la mínima en el mes de julio con 8.58 °C y la máxima en el mes de abril con 10.58 °C. El período de meses más frío se presentó en julio, agosto y septiembre. En este sentido, Bastidas (2016), afirma que en la estación “La Tola” hasta el año 2010, los meses más fríos fueron agosto noviembre y diciembre, lo que implica que existe una variación en el clima en los últimos años, lo cual, de acuerdo al mismo autor, puede tener efectos negativos en los rendimientos agrícola.

El valor mayor de Tmin mensual se registró en el mes de abril (Figura 7), influenciada por la mayor tasa de precipitación y cielos nublados lo cual permite mantener un clima más temperado, mientras que en el mes de julio con poca precipitación y noches despejadas existe un mayor flujo de calor desde el suelo a la atmósfera produciéndose las temperaturas más bajas.

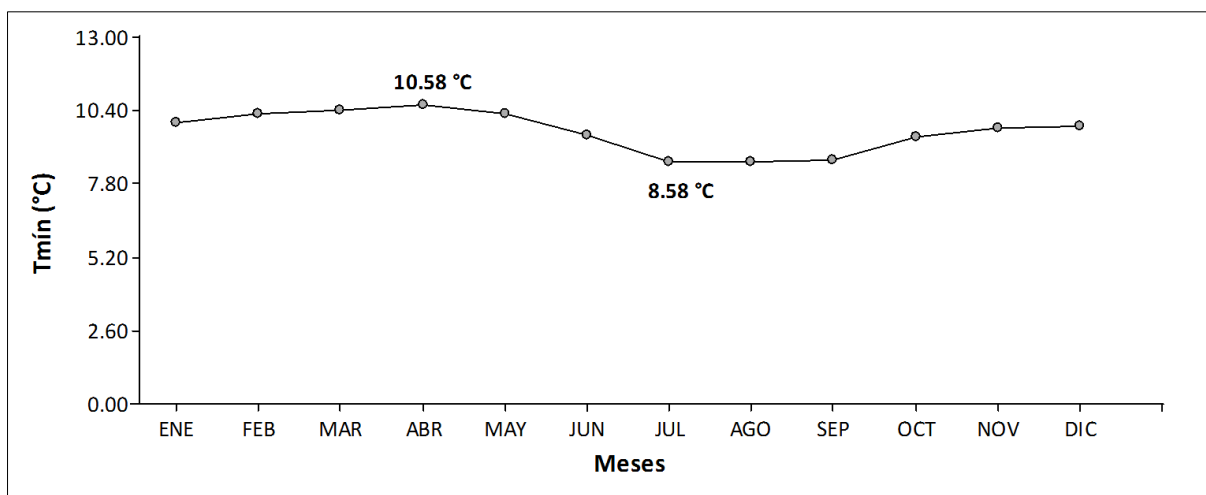


Figura 7. Temperatura mínima promedio mensual. Serie de datos 1988 - 2017. Fuente: (INAMHI, 2018). Estación meteorológica “La Tola”.

Como se observa, la Tmin, no presenta variabilidad con los datos (Tabla 5), por los valores obtenidos en la desviación estándar y coeficiente de variación.

Tabla 5. Resumen de la estadística descriptiva de Temperatura mínima.

Mes	Media (%)	Mín. (%)	Máx. (%)	D.E.	C.V.
Enero	9.95	7.5	11.2	0.80	8.02
Febrero	10.28	8.0	11.7	0.77	7.53
Marzo	10.44	8.9	12.1	0.76	7.27
Abril	10.58	9.5	12.4	0.65	6.11
Mayo	10.27	8.0	11.1	0.69	6.68
Junio	9.52	8.5	11.5	0.68	7.11
Julio	8.58	6.7	10.1	0.76	8.81
Agosto	8.61	7.1	10.4	0.67	7.74
Septiembre	8.67	7.1	9.5	0.62	7.1
Octubre	9.49	8.3	10.4	0.57	6.06
Noviembre	9.81	7.6	11.4	0.93	9.49
Diciembre	9.85	8.5	11.3	0.75	7.62

D. E = Desviación estándar; C.V. = Coeficiente de variación.

De acuerdo a los resultados del Test estadístico de Mann Kendall (Tabla 6), para Tmin se presentó una tendencia negativa con un $\alpha = 0.05$ de significancia para los meses de abril y noviembre. Esto denota que, en la parroquia de Tumbaco, la temperatura mínima ha disminuido en el transcurso de la serie histórica de 30 años, estos resultados fueron analizados a nivel mensual en una sola estación, por lo tanto, no se puede correlacionarlos con los datos reportados de incremento de temperatura a nivel mundial de $0.084 \pm 0.21^{\circ}\text{C}$, ya que para el análisis del calentamiento global se utiliza información media mensual y anual de temperatura mínima global (Valdez *et al.*, 2003).

Sin embargo, se tiene que reconocer que los resultados presentados en esta investigación coinciden con otras investigaciones realizadas a nivel regional y local, Inzunza *et al.* (2011), reportan que en México la 'Comarca Lagunera' y cercanías obtuvieron como resultado una tendencia decreciente en temperatura mínima; Rojas *et al.* (2010), indican haber obtenido tendencias con un $\alpha = 0.01$ de significancia en temperatura mínima en zonas altas andinas de Cundinamarca y Boyacá (Colombia).

El cambio climático y la variación climática pueden estar influenciados por las condiciones atmosféricas o factores antropogénicos, que pueden alterar el clima promedio de una región o localidad, en los valles interandinos donde se ubica la parroquia de Tumbaco, el clima está afectado por masas de aire que provienen del océano pacífico y de la Amazonía, también a causa de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), y entre otras causas o fenómenos que podían tener relación con estas tendencias negativas de Temperatura mínima (Serrano *et al.*, 2012). Así mismo, Trasmonte *et al.* (2010), concluyeron que la tendencia negativa de la temperatura mínima está relacionada en un 50 % de probabilidad con el fenómeno de la niña.

Además, la disminución de la temperatura mínima puede producir daños fisiológicos, muerte celular y destrucción de tejidos en los cultivos, provocando daños irreparables y pérdidas totales o parciales de producción, afectando los ecosistemas que se encuentran en la parroquia de Tumbaco (Rojas *et al.*, 2010).

Tabla 6. Análisis de tendencia para Temperatura mínima 1988 - 2017. Método de Mann Kendall.

Serie de tiempo	test Z	Nivel de significancia
Enero	-0.66	-
Febrero	-0.39	-
Marzo	-0.61	-
Abril	-2.64	*
Mayo	-1.25	-
Junio	-1.48	-
Julio	0.63	-
Agosto	-0.38	-
Septiembre	-1.13	-
Octubre	-0.38	-
Noviembre	-1.98	*
Diciembre	0.52	-

1) Test Z: (valor positivo) incremento de la tendencia, (valor negativo) decremento de la tendencia
 2) * = si la tendencia es significativa $\alpha = 0.05$; 3) (-) = no es significativo.

4.1.2. Temperatura Máxima (Tmax)

La temperatura máxima (Tmax) promedio mensual multianual registrada en el período 1988 - 2017 (30 años) fue: promedio histórico de 22.78 °C, siendo el rango de variación entre 20.4 °C y 25.2 °C (Figura 8).

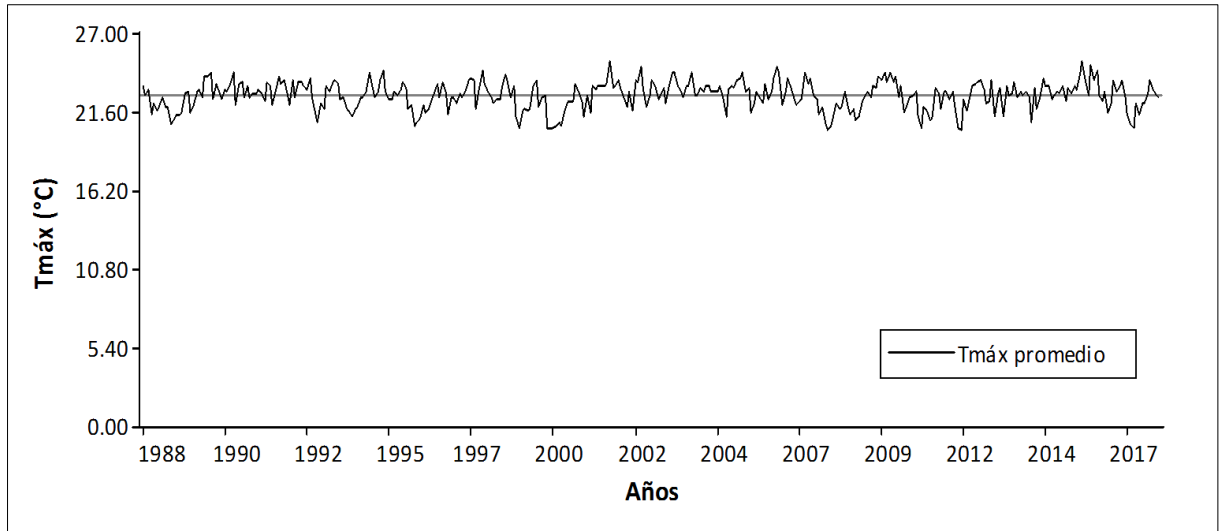


Figura 8. Temperatura máxima mensual multianual. Serie de datos 1988 - 2017. Fuente: (INAMHI, 2018). Estación meteorológica “La Tola”.

La Tmax promedio mensual de la serie histórica presentó los siguientes valores, la mínima en el mes de marzo con 22.24 °C y la máxima en el mes de septiembre con 23.68 °C (Figura 9). Los meses con un ligero incremento de Tmax son: julio, agosto, septiembre y octubre; Bastidas (2016), reporta que los datos registrados en la estación “La Tola” hasta el 2010, los meses que presentaban mayor Tmax eran mayo, junio, agosto, septiembre y octubre. Como se evidencia la Tmax en todo el año se mantiene constante (Ron, Merino & Ortiz, 2019).

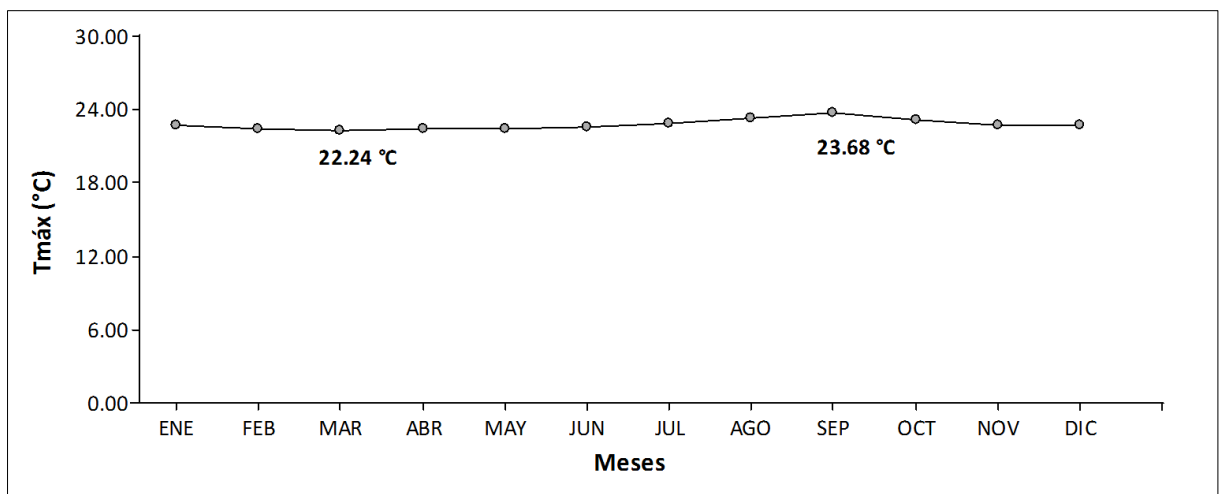


Figura 9. Temperatura máxima promedio mensual. Serie de datos 1988 - 2017 Fuente: (INAMHI, 2018). Estación meteorológica la “La Tola”.

En la Tabla 7 los coeficientes de variación mensuales de Tmax no presentan variabilidad en los datos por los bajos valores de C.V.

Tabla 7. Resumen de la estadística descriptiva de Temperatura máxima

Mes	Media (%)	Mín. (%)	Máx. (%)	D.E.	C.V.
Enero	22.67	20.5	24.5	1.26	5.58
Febrero	22.42	20.4	24.5	1.22	5.42
Marzo	22.24	20.4	24.4	1.07	4.8
Abril	22.38	20.7	23.4	0.7	3.13
Mayo	22.47	20.7	23.6	0.75	3.32
Junio	22.63	21.6	23.9	0.71	3.12
Julio	22.91	21.9	24.3	0.66	2.86
Agosto	23.34	22	24.4	0.57	2.44
Septiembre	23.68	22	25.1	0.75	3.17
Octubre	23.21	21.8	25.2	0.72	3.11
Noviembre	22.72	20.8	24.3	0.81	3.57
Diciembre	22.7	20.5	24.9	0.99	4.35

D. E = Desviación estándar; C.V. = Coeficiente de variación.

Los resultados del Test estadístico de Mann Kendall (Tabla 8), para Tmax no existen tendencias significativas en la serie de datos analizada. Sin embargo, los resultados obtenidos indican la posibilidad de que Tmax continúe incrementándose por la presencia de valores Z positivos; Serrano *et al.* (2012), determinaron que en la ciudad Quito, la temperatura se incrementó en 0.12 °C por década. Sin embargo, López (2010), sostiene que el Ecuador al estar localizado en la Zona de Convergencia Intertropical, presenta condiciones de baja variabilidad de la temperatura; Cadilhac *et al.* (2017), reporta que en los últimos diez años es donde se puede apreciar un mayor incremento de la temperatura máxima debido a que se registra en estos períodos una disminución de la superficie glaciaria en los volcanes de la región; Eduardo, Porras, & Jácome (2016), afirman que la temperatura máxima en la región Sierra no muestra incrementos significativos.

Tabla 8. Análisis de tendencia para Temperatura máxima 1988 - 2017. Método de Mann Kendall.

Series de Tiempo	Test Z	Nivel de significancia
Enero	-0.34	-
Febrero	-0.18	-
Marzo	-1.18	-
Abril	0.11	-
Mayo	0.45	-
Junio	0.02	-
Julio	1.23	-
Agosto	0.84	-
Septiembre	0.29	-
Octubre	-0.11	-
Noviembre	0.36	-
Diciembre	-0.91	-

1) Test Z: (valor positivo) incremento de la tendencia, (valor negativo) decremento de la tendencia

2) * = si la tendencia es significativa $\alpha = 0.05$; 3): (-) = no es significativo.

4.1.3. Humedad Relativa (HR)

La humedad Relativa (HR) promedio mensual multianual registrada en el período 1988 - 2017 (30 años) fue: promedio histórico de 74.24%, siendo el rango de variación entre el 57% y el 86% (Figura 10).

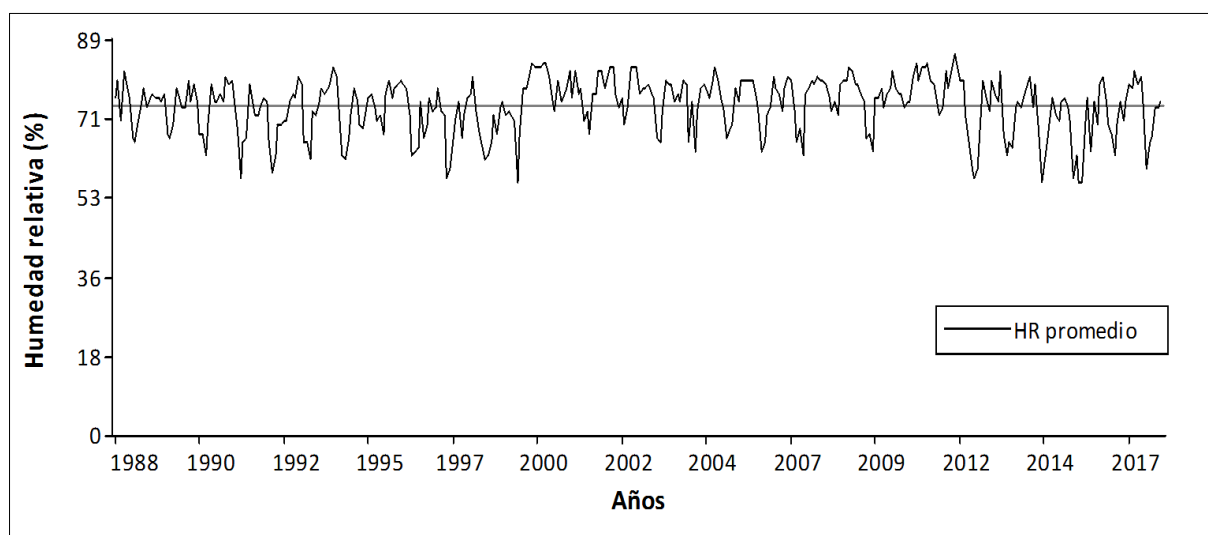


Figura 10. Humedad Relativa mensual multianual. Serie de datos 1988 - 2017. Fuente: (INAMHI, 2018). Estación meteorológica “La Tola”.

La HR promedio mensual de la serie histórica de datos presentó los siguientes valores: la mínima en el mes de agosto con 65.70% y la máxima en el mes de abril con un 79.17% (Figura 11). Los períodos con mayor HR son los meses de enero, febrero, marzo abril, mayo, octubre noviembre y diciembre y los períodos de menor HR son julio agosto y septiembre, resultados que concuerdan

con los obtenidos por Bastidas (2016), los meses con mayor HR son enero, febrero, marzo, abril y mayo y los meses con menor HR son junio, julio agosto y septiembre, para el período 1988 - 2010.

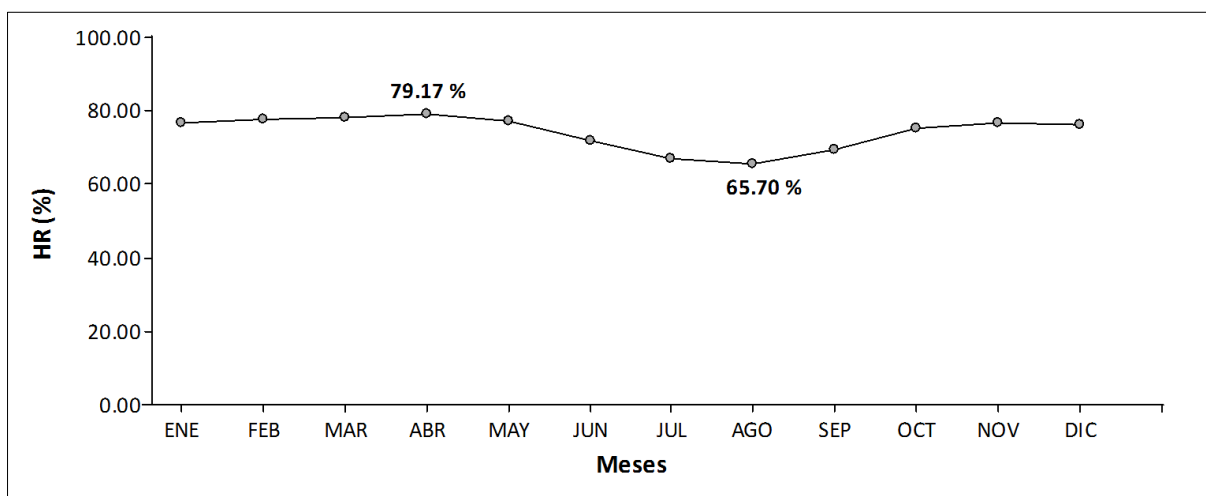


Figura 11. Humedad Relativa promedio mensual. Serie de datos 1988 - 2017. Fuente: (INAMHI, 2018). Estación meteorológica “La Tola”.

En la Tabla 9, la humedad relativa no presenta una variabilidad en los datos respecto al promedio, ya que presenta datos inferiores al 20 % de coeficiente de variación (Otero, 2010).

Tabla 9. Resumen de la estadística descriptiva de Humedad Relativa.

Mes	Media (%)	Mín. (%)	Máx. (%)	D.E.	C.V.
Enero	76.73	70	86	3.7	4.83
Febrero	77.53	69	84	3.71	4.79
Marzo	78.2	71	83	3.39	4.33
Abril	79.17	73	84	2.96	3.74
Mayo	77.27	71	84	3.2	4.15
Junio	71.87	58	81	4.87	6.77
Julio	66.77	57	77	5.93	8.89
Agosto	65.7	57	75	4.82	7.34
Septiembre	69.33	57	80	5.28	7.62
Octubre	75.13	66	83	3.94	5.24
Noviembre	76.9	67	83	3.59	4.67
Diciembre	76.23	64	84	4.94	6.48

D. E= Desviación estándar; C.V.= Coeficiente de variación.

En el Test estadístico de Mann Kendall (Tabla 10), se presentó una tendencia positiva con un $\alpha = 0.05$ para la HR en el mes de marzo, en los meses restantes no se presenta ninguna tendencia significativa lo que implica que existe un incremento de la tendencia de la humedad relativa; Salcedo *et al.* (2007), afirman que donde existe la utilización excesiva de aerosoles provoca el oscurecimiento global, esto genera un incremento de la humedad relativa en la atmósfera, como consecuencia se tiene mayor nubosidad y mayor retención de agua, lo que significa que las nubes

son más densas, pero el hecho de que tengan una mayor cantidad de agua no significa que pueda llover más, al contrario afecta el paso de la luz solar.

En la parte agrícola, el incremento de la humedad en el aire, significa mayor propagación de enfermedades, ya que el desarrollo es más rápido cuando las hojas se encuentran húmedas por tiempos prolongados, sin embargo, también significa que a mayor humedad en el aire, menor evapotranspiración y menor necesidad de riego para los cultivos (Lindao *et al.*, 2018).

Tabla 10. Análisis de tendencia para Humedad Relativa 1988 - 2017. Método de Mann Kendall.

Series de Tiempo	Test Z	Nivel de significancia
Enero	1.238	-
Febrero	1.133	-
Marzo	2.153	*
Abril	0.036	-
Mayo	0.216	-
Junio	-0.036	-
Julio	-0.269	-
Agosto	0.574	-
Septiembre	-1.129	-
Octubre	0.072	-
Noviembre	0.018	-
Diciembre	0.700	-

1) Test Z: (valor positivo) incremento de la tendencia, (valor negativo) decremento de la tendencia

2) * = si la tendencia es significativa $\alpha = 0.05$; 3); (-) = no es significativo.

4.1.4. Evaporación del tanque clase A

La Evaporación del tanque clase A promedio mensual multianual registrada en el período 1981 - 2017 (36 años) fue: promedio histórico de 135.3 mm, siendo el rango de variación entre 69.3 mm y 293.6 mm (Figura 12).

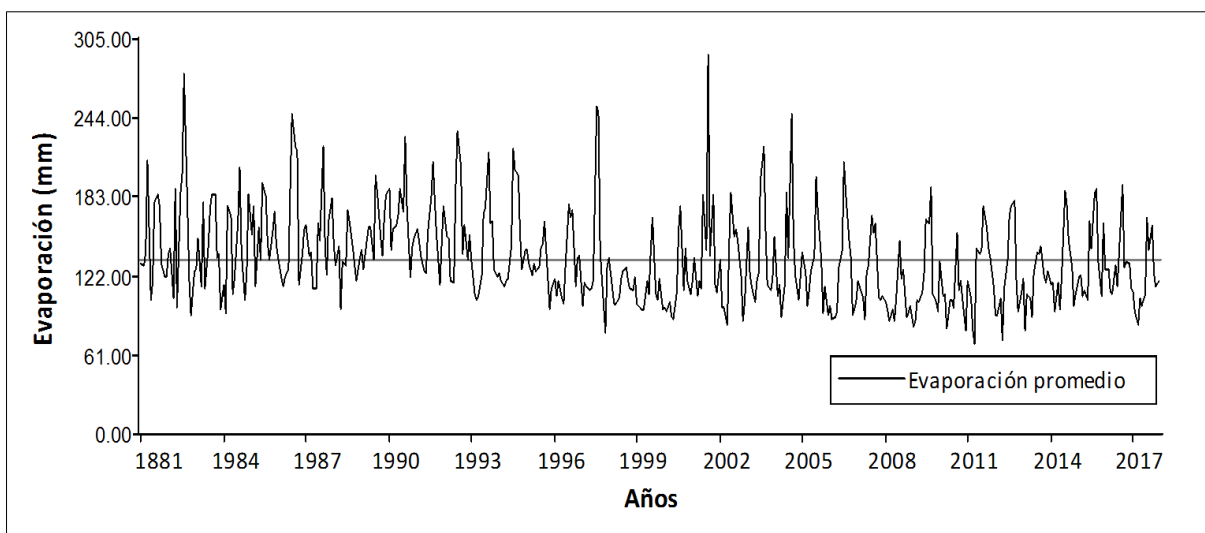


Figura 12. Evaporación mensual multianual. Serie de datos 1981 - 2017. Fuente: (INAMHI, 2018). Estación meteorológica “La Tola”.

La evaporación del tanque clase A promedio mensual de la serie histórica presentó los siguientes valores, la mínima en el mes de marzo con 114.38 mm y la máxima en el mes de agosto con 188.18 mm (Figura 13). Así, los períodos con mayor evaporación se encuentran en los meses de junio, julio, agosto y septiembre, y los meses con menor evaporación son enero, febrero, marzo, abril noviembre y diciembre.

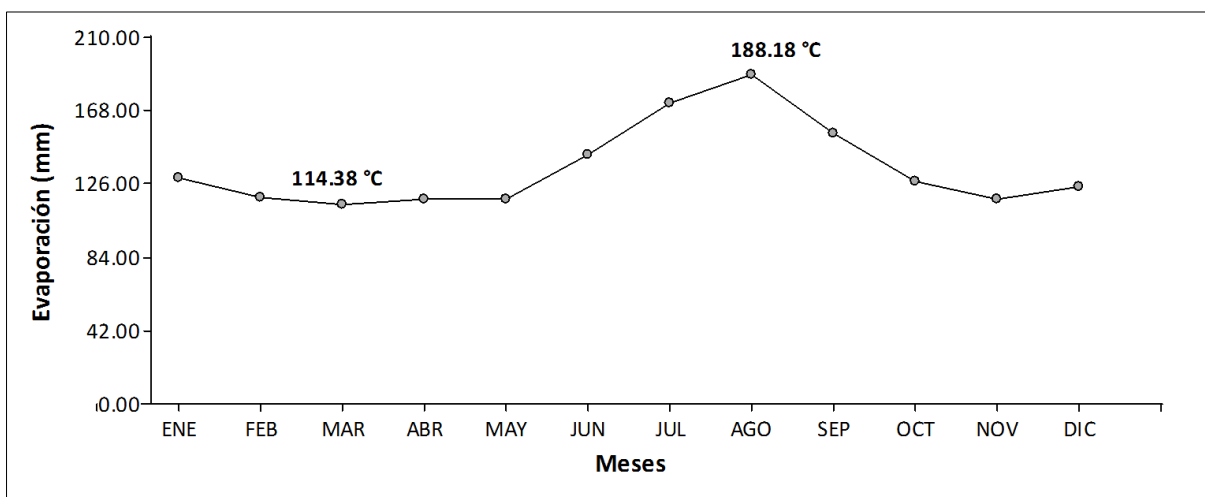


Figura 13. Evaporación promedio mensual. Serie de datos 1981 - 2017. Fuente: (INAMHI, 2018). Estación meteorológica “La Tola”.

Los coeficientes de variación presentados en la Tabla 11, señalan que la Evaporación empieza a tener variabilidad de los datos respecto a las anteriores variables analizadas, pero aún se encuentran en el rango esperado para utilizar los promedios en análisis hidrológicos (Otero, 2010).

Tabla 11. Resumen de la estadística descriptiva de la Evaporación del tanque clase A.

Mes	Media (mm mes ⁻¹)	Mín. (mm mes ⁻¹)	Máx. (mm mes ⁻¹)	D.E.	C.V.
Enero	129.13	82.4	189.1	23.62	18.29
Febrero	117.88	80.5	175.9	21.63	18.35
Marzo	114.38	80.3	176.4	21.52	18.82
Abril	116.90	69.3	212.3	32.90	28.14
Mayo	117.26	87.0	169.0	18.24	15.55
Junio	142.46	103.6	194.1	29.09	20.42
Julio	172.04	97.6	253.3	33.59	19.53
Agosto	188.18	120.0	293.6	39.38	20.93
Septiembre	154.96	107.6	219.4	25.66	16.56
Octubre	127.54	90.1	185.5	20.31	15.92
Noviembre	116.81	78.2	172	20.97	17.95
Diciembre	124.25	80.1	185.7	25.19	20.27

D. E= Desviación estándar; C.V.= Coeficiente de variación.

En el Test estadístico de Mann Kendall (Tabla 12), se presentó una tendencia negativa significativa con un $\alpha = 0.05$ de la evaporación del tanque clase A en los meses de enero, febrero, marzo, abril, junio, julio, agosto, noviembre y diciembre. Esto determina que existe una tendencia a la disminución de la evaporación del tanque, estos resultados son consistentes con los reportados por Magallanes, López, & Galván (2017), en su investigación en México obtuvieron como resultado una disminución de la evaporación del tanque de 0.24 mm por año, además, en el hemisferio norte se determinó un decremento de 2 a 4 mm por año. Lawrimore & Peterson (2000), sostienen que existe una correlación entre la tendencia de las disminuciones de la evaporación y las disminuciones de las temperaturas diurnas, así mismo, Shadmani *et al.* (2012), argumentan que la evaporación es una de las variables más importantes para determinar el cambio climático y los patrones que influyen en los procesos hidrológicos, los cuales están evolucionando y cambiando los ecosistemas.

Los eventos de la disminución de la evaporación del tanque se asocian al fenómeno conocido como “Paradoja de la evaporación” (oscurecimiento progresivo de la atmósfera); Salcedo *et al.* (2007), sostienen que una explicación para este fenómeno es la disminución de la radiación solar, a causa del aumento de la cantidad de micro partículas en el aire, lo que implica que los rayos solares chocan con ellas y rebotan hacia el espacio, disminuyendo así la radiación solar sobre la superficie terrestre, produciendo menos evaporación y en consecuencia menos precipitación, lo que resulta grave para las zonas al temporal ya que incide negativamente en la fotosíntesis de los cultivos.

Tabla 12. Análisis de tendencia para Evaporación 1981 – 2017. Método de Mann Kendall.

Series de Tiempo	Test Z	Nivel de significancia
Enero	-2.86	*
Febrero	-3.57	*
Marzo	-3.73	*
Abril	-4.49	*
Mayo	-1.24	-
Junio	-2.63	*
Julio	-2.45	*
Agosto	-1.97	*
Septiembre	-0.90	-
Octubre	-0.76	-
Noviembre	-2.85	*
Diciembre	-3.03	*

1) Test Z: (valor positivo) incremento de la tendencia, (valor negativo) decremento de la tendencia

2) * = si la tendencia es significativa $\alpha = 0.05$; 3): (-) = no es significativo.

En la investigación se observó (Figura 14) la relación existente ente temperatura máxima, la humedad relativa y la evaporación del tanque clase A, por lo tanto, se puede decir que a mayor temperatura máxima, mayor evaporación y menor humedad relativa y a menor temperatura máxima, menor evaporación del tanque y mayor humedad relativa, así en los meses julio, agosto y septiembre, se presenta con menor humedad relativa y mayor temperatura máxima y mayor evaporación, mientas que en los meses de octubre, noviembre, diciembre, enero, febrero, marzo y abril y mayo se presenta de manera opuesta; Serrano *et al.* (2012), confirman en sus resultados la relación existente entre estas variables climáticas.

El incremento de la temperatura y la evaporación, afectan a la tensión de vapor de saturación, por lo tanto, a mayor temperatura del aire se elevará tanto la tensión de vapor en el aire como en el agua (López & Martín, 2011). La humedad relativa es inversamente proporcional a la temperatura, siempre y cuando la cantidad de vapor de agua permanezca constante (GLOBE, 2005).

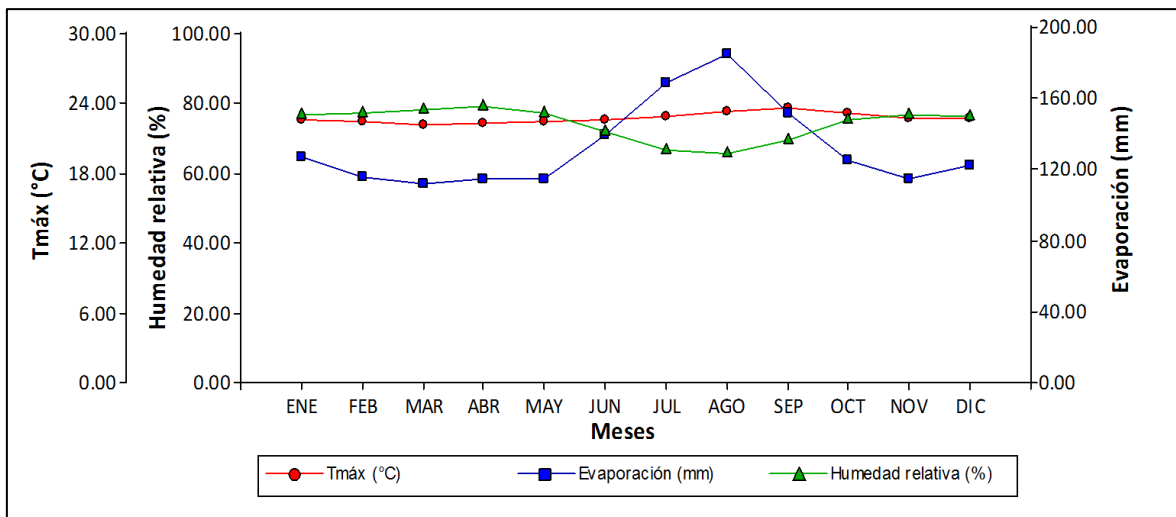


Figura 14. Relación existente entre las variables (Tmax, Eo HR). Fuente: (INAMHI, 2018). Estación meteorológica la “La Tola”.

En la Figura 15, se observan las variables climatológicas, las cuales mediante el método Mann Kendall presentaron tendencias significativas negativas para evaporación del tanque clase A y una ligera tendencia significativa positiva para humedad relativa.

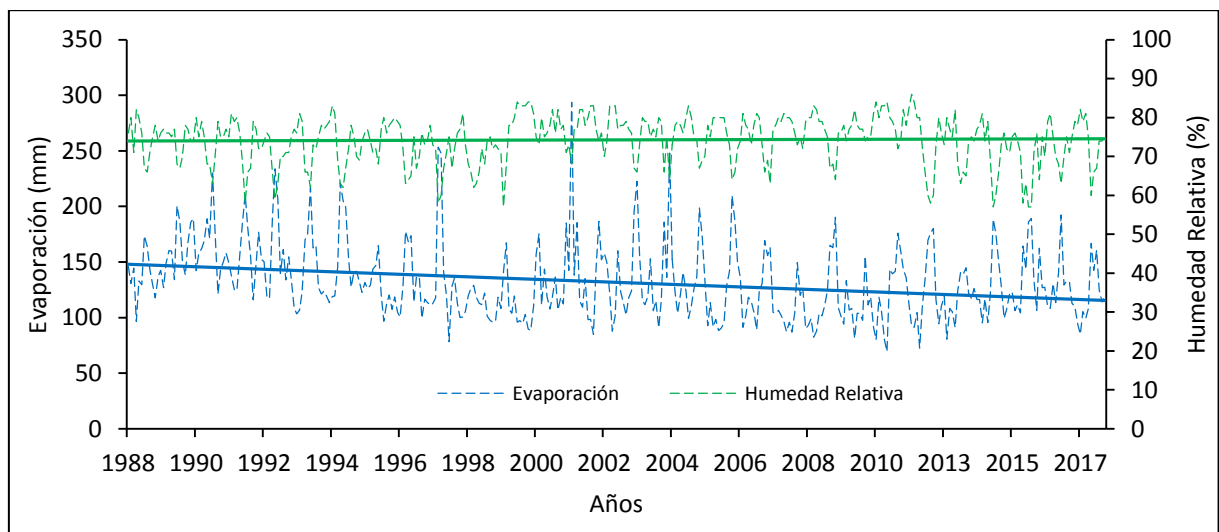


Figura 15. Tendencia de Eo y HR mensual multianual. Serie histórica 1988 - 2017. Fuente: (INAMHI, 2018). Estación meteorológica la “La Tola”.

4.1.5. Precipitación

La Precipitación promedio mensual multianual registrada en el período 1981 - 2017 (36 años) fue: fue: promedio histórico de 70.73 mm, siendo el rango de variación entre 0.0 mm y 267.8 mm (Figura 16).

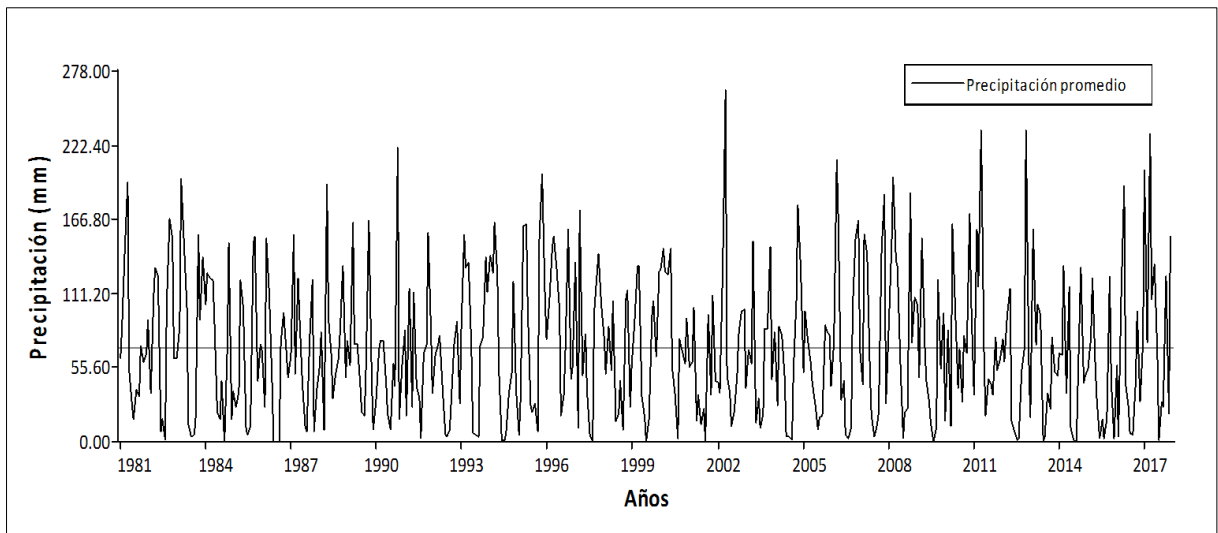


Figura 16. Precipitación mensual multianual. Serie de datos 1981 - 2017. Fuente: (INAMHI, 2018). Estación meteorológica “La Tola”.

La precipitación promedio mensual de la serie histórica de datos presentó los siguientes valores, la mínima de 20.17 mm en el mes de julio y la precipitación máxima en el mes de marzo con 199.95 mm (Figura 17). Los períodos de mayor precipitación son los meses de marzo, abril, octubre y noviembre, mientras que los períodos con disminución de precipitación son los meses de junio, julio agosto Bastidas (2016), sostiene que las precipitaciones tienen un comportamiento bimodal máximo de tres meses, lo que significa que se presentan las precipitaciones altas dos veces al año, las primeras tienen lugar en el mes de abril y las segundas en el mes de octubre, conocido también como la estación lluviosa.

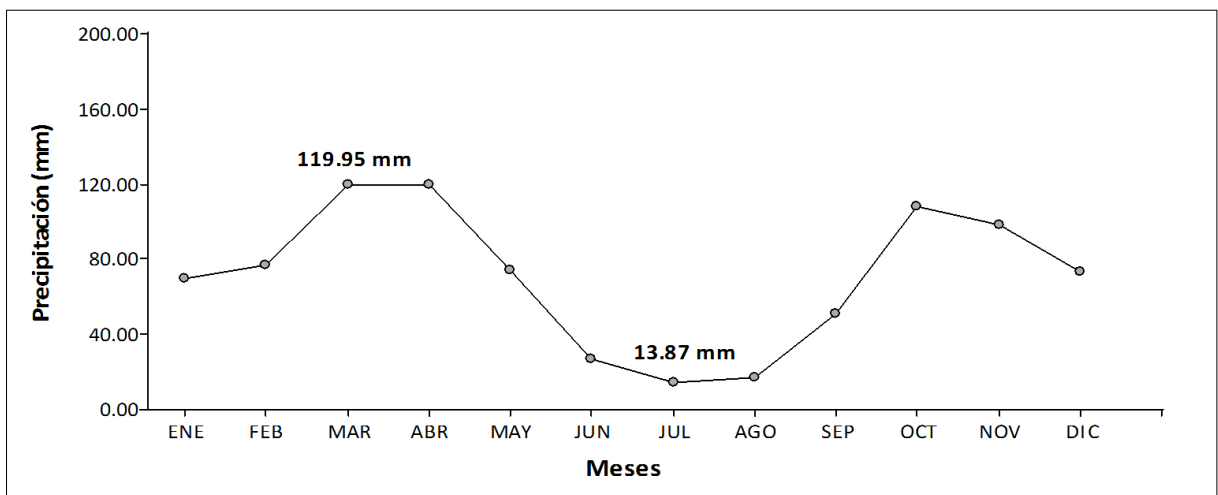


Figura 17. Precipitación promedio mensual. Serie de datos 1981 - 2017. Fuente: (INAMHI, 2018). Estación meteorológica “La Tola”.

Los coeficientes de variación presentados en la Tabla 13, señalan que la precipitación presenta una alta variabilidad en los datos. Otero (2010), asegura que los datos no están muy próximos a la media y por lo tanto, para cálculos hidrológicos se recomienda realizar probabilidades.

Tabla 13. Resumen de la estadística descriptiva de Precipitación.

Mes	Media (mm)	Mín. (mm)	Máx. (mm)	D.E.	C.V.
Enero	69.73	4.9	203.8	38.22	54.81
Febrero	76.83	4.2	159.8	44.72	58.21
Marzo	119.95	9.7	230.7	51.99	43.35
Abril	119.52	16.1	263.8	56.17	47.00
Mayo	74.05	15.0	144.7	36.6	49.43
Junio	27.08	0.0	98.9	22.19	81.92
Julio	13.87	0.1	69.6	14.76	106.43
Agosto	17.31	0.0	58.4	17.19	99.27
Septiembre	51.05	0.0	149	33.22	65.07
Octubre	108.46	34.6	221.2	41.34	38.11
Noviembre	98.07	8.2	233	57.45	58.58
Diciembre	72.84	2.5	166.4	40.42	55.48

D. E= Desviación estándar; C.V.= Coeficiente de variación.

En el Test estadístico de Mann Kendall (Tabla 14), no se obtuvo ningún tipo de significancia estadística. Lo que significa que la precipitación es errática y no presenta tendencias. Serrano *et al.* (2012), concluyeron que es complicado establecer un patrón de tendencia para la precipitación en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) a causa de la altitud y el relieve, así mismo, menciona que al realizar un estudio con datos de los últimos quince años se detectó anomalías en la precipitación en los meses de marzo y agosto; Armenta *et al.* (2016), mencionan que las investigaciones globales para el Ecuador en el siglo XX tampoco presentaron cambios significativos en la precipitación a causa de la alta variabilidad que muestra esta variable en el país; según Puertas, Carvajal, & Quintero (2011), la existencia de mezclas de tendencia positivas y negativas en la precipitación son a causa de la topografía de la zona y la exposición a las corrientes de aire cargadas de humedad y que este tipo de tendencias ocurren en altitudes superiores a los 1 300 msnm, lo cual coinciden con la altitud de la zona de investigación.

Tabla 14. Análisis de tendencia para Precipitación 1981 - 2017. Método de Mann Kendall.

Series de Tiempo	Test Z	Nivel de significancia
Enero	-0.628	-
Febrero	0.118	-
Marzo	0.078	-
Abril	-0.327	-
Mayo	-0.602	-
Junio	0.811	-
Julio	0.000	-
Agosto	0.353	-
Septiembre	-0.968	-
Octubre	-0.340	-
Noviembre	0.183	-
Diciembre	1.543	-

1) Test Z: (valor positivo) incremento de la tendencia, (valor negativo) decremento de la tendencia

2) * = si la tendencia es significativa $\alpha = 0.05$; 3): (-) = no es significativo.

4.2. Análisis de Encuestas

En la parroquia Tumbaco se trabajó en dos zonas de agricultura de temporal, Ilaló y San José de Collaqui.

4.2.1. Características socio demográficas

La población encuestada fue clasificada en tres grupos, el primer grupo de edad comprendió entre 18 y 32 años (10 %), el segundo grupo de edad entre 33 y 50 años (28 %) y el tercer grupo edades entre 51 años en adelante (61 %). El 92 % de los agricultores encuestados manifiestan que las tierras donde cultiva son propias, el 7 % es prestado y el 1 % es arrendado.

Al analizar el nivel educativo (Figura 18) de las comunidades, se detecta que mayoritariamente el 34 % tiene un nivel de primaria incompleto, el 22 % primaria completa, el 13 % cuenta con secundaria incompleta, el 10% secundaria completa, el 7 % con educación superior y el 15 % no poseen ningún grado de educación.

Las características demográficas de estas comunidades están compuestas mayormente por personas adultas entre 51 y 96 años que a lo largo de su vida, han podido notar cómo está cambiando el clima y como este cambio está afectando a la agricultura.

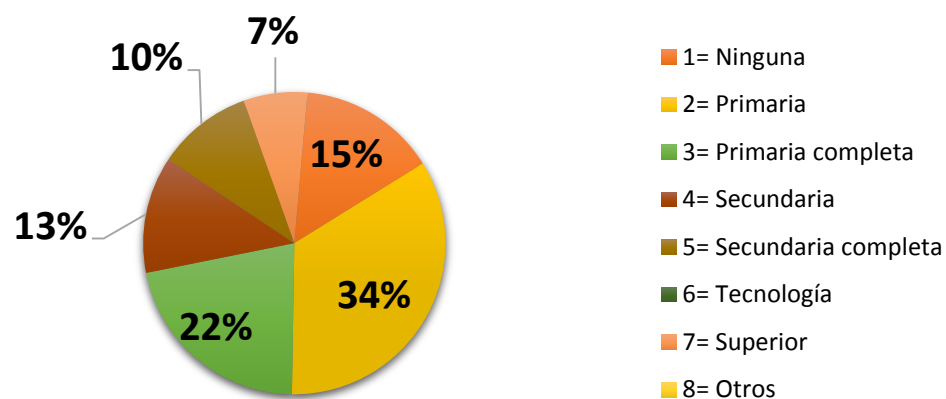


Figura 18. Nivel de escolaridad de los agricultores de temporal.

4.2.2. Conocimientos acerca del cambio climático

Es importante determinar si los agricultores al temporal conocen acerca del cambio climático, las causas por las que se produce este fenómeno y cuáles son los problemas generados, para que los agricultores puedan tomar medidas para adaptarse a estos fenómenos.

Según la percepción de los agricultores acerca de que si cree que existe el cambio climático, el 86 % de los encuestados afirman que si creen que existe el cambio climático, mientras que un 14 % no cree en la existencia del cambio climático (Figura 19), lo cual es sustancial y demuestra que los agricultores si entienden que el clima está cambiando.

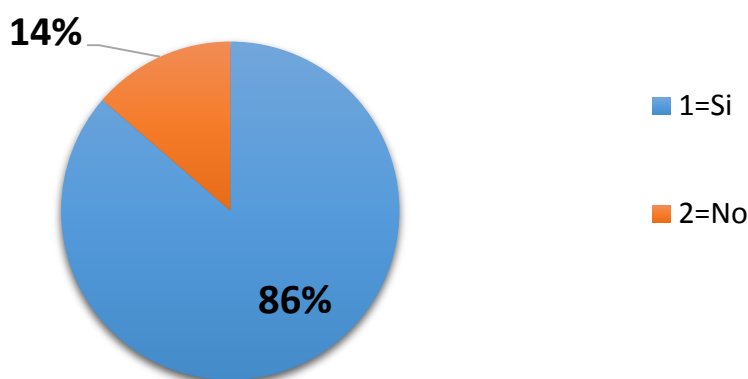


Figura 19. Porcentaje de agricultores que creen que existe el cambio climático.

Con respecto de que si ha notado el cambio climático, el 84 % de los encuestados si han notado la presencia del cambio climático, mientras que el 2 % señala que no ha notado la presencia del cambio climático y el 14 % se muestra indiferente (Figura 20). Mencionan que, la agricultura antiguamente no era tan compleja como en la actualidad, pero su percepción no es suficiente

para poder resolver sus problemas ya que no cuentan con alternativas que puedan ayudar a adaptarse a este tipo de eventos climáticos.

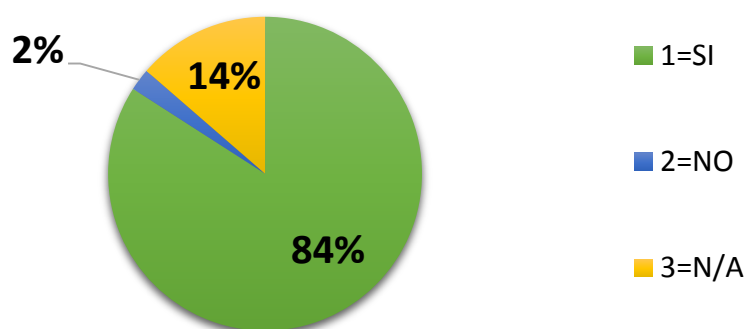


Figura 20. Porcentaje de agricultores que han notado la presencia del cambio.

La comunidad cree mayoritariamente que la causa del cambio climático (Figura 21) está relacionado con la combinación de la deforestación, industria, contaminación con un 43 %, mientras que un 25 % cree que es a causa de la contaminación, 14 % a la deforestación, 16 % no sabe las causas y solo un 2 % a la industria.

Esto significa que la comunidad sabe que el cambio climático está relacionado con la actividad humana y muestra preocupación sobre la deforestación de la zona y el aumento de la población urbana, los agricultores piden ayuda para solventar estos problemas ya que cada vez la zona de cultivos se direcciona a las partes altas de la montaña.

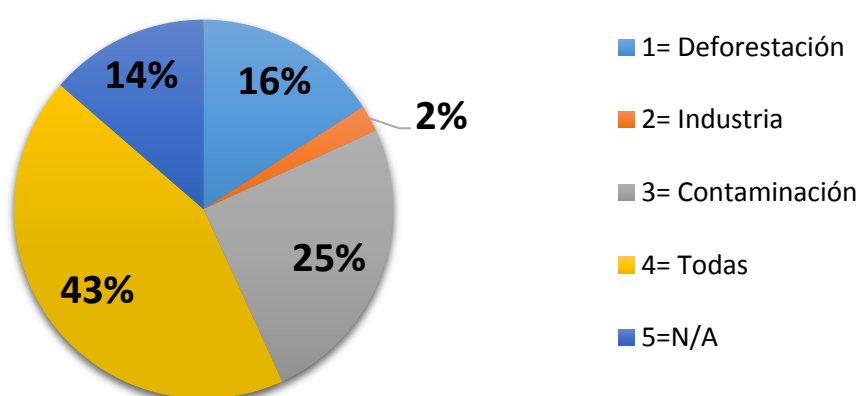


Figura 21. Causas por las cuales los agricultores atribuyen al cambio climático.

Los problemas existentes en la agricultura ya lo relacionan con el cambio climático (Figura 22), por lo que, un 61 % de los encuestados creen que el cambio climático está afectando en su fecha de siembra, desarrollo vegetativo y rendimiento, un 11 % solo cree que afecta en la fecha de

siembra, el 11 % solo al rendimiento, el 14 % aún desconoce de la relación del cambio climático con la agricultura, y un 2 % cree que solo afecta al desarrollo vegetativo.

Los resultados muestran que los agricultores si cuentan con ideas de cómo está afectando el cambio climático a la agricultura, pero no conciben cuál es la relación con la disminución del rendimiento de los cultivos año tras año y las variables climatológicas.

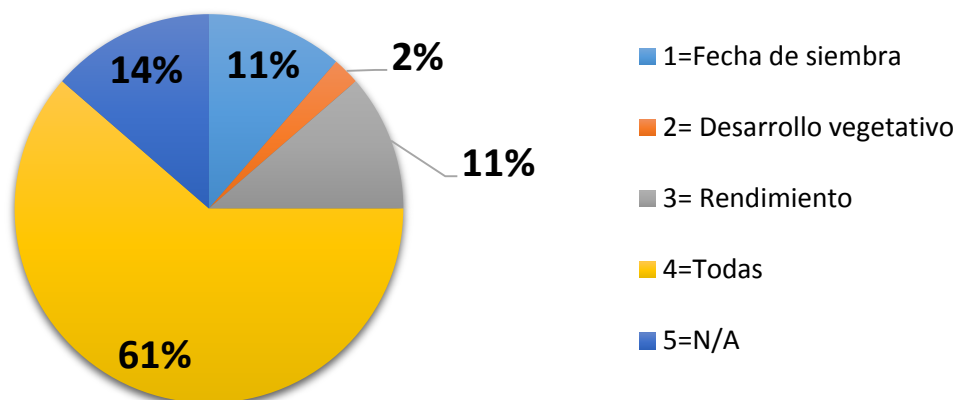


Figura 22. Porcentaje de agricultores que creen que el cambio climático afecta al cultivo.

Al evaluar las condiciones climáticas de la zona, una de las preguntas principales fue como percibe la temperatura en comparación con años anteriores, el 80 % de los agricultores encuestados supo manifestar que hubo un incremento de temperatura, asociada a la intensidad solar, lo cual afecta a los horarios de exposición y de trabajo agrícola, el 13 % dijo que disminuyó y un 8 % no notó ningún cambio (Figura 23).

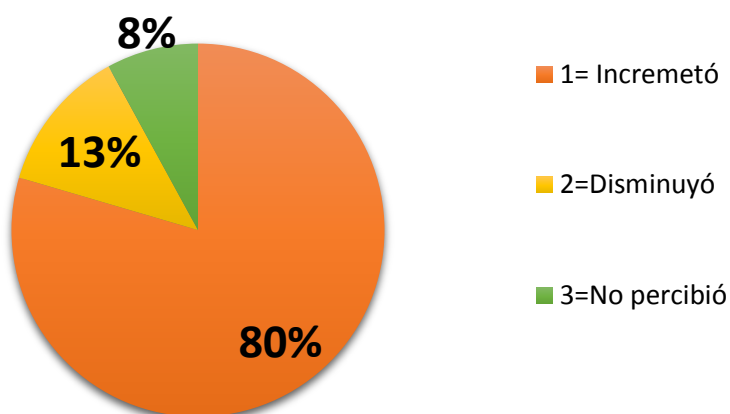


Figura 23. Porcentaje de agricultores que según su percepción la temperatura ha cambiado.

Con respecto a la percepción de las lluvias en comparación con años anteriores, un 51 % de los agricultores encuestados mencionan que las lluvias han disminuido, el 24 % dice que ha incrementado, mientras que el 25 % no ha percibido ningún cambio. Esto sugiere que las

precipitaciones han variado en cantidad para los agricultores y por lo tanto no han podido establecer los períodos donde inician las lluvias y que se presenten de manera constante durante todo el ciclo del cultivo, ya que los agricultores a partir de las temporadas de lluvia elaboran juicios con respecto a los cambios observados y de acuerdo a sus experiencias y conocimientos toman decisiones agrícolas (Figura 24).

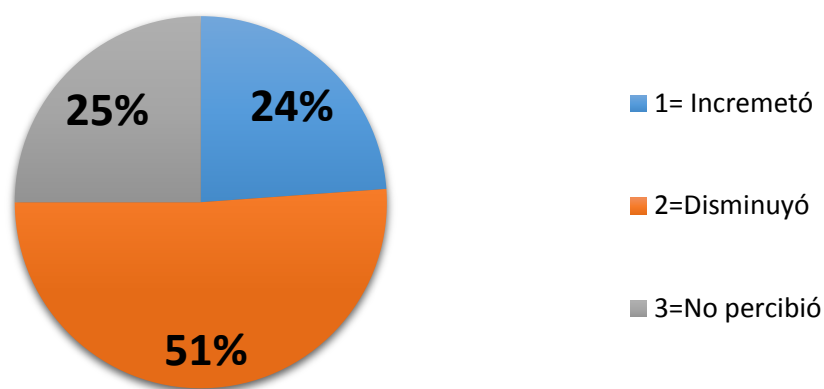


Figura 24. Porcentaje de agricultores que según su percepción la lluvia ha cambiado.

Las fechas de siembra tradicionales han formado parte de las culturas del Ecuador, están basadas en el comportamiento de la fase lunar, el sol y otros astros de mayor importancia, así los agricultores podían definir el tiempo y las estaciones secas y lluviosas así especificaban las llegadas de las lluvias, pero un 60 % de los agricultores mencionan que es complicado mantenerlas por lo que han adoptado por cambiar sus fechas de siembra tradicionales y el 40 % de los agricultores aún mantienen sus fechas de siembra tradicionales (Figura 25).

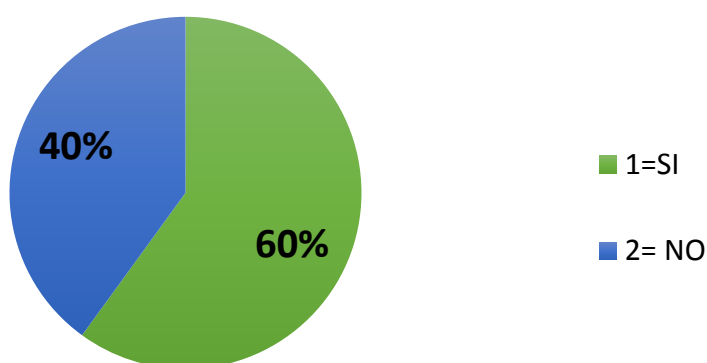


Figura 25. Porcentaje de agricultores que ha cambiado su fecha de siembra.

El 51 % de los agricultores para iniciar la siembra se fijan en las lluvias, el 34 % en el calendario lunar, 10 % en el almanaque y el 5 % combina todos los métodos (Figura 26). La mayoría de los encuestados cambió la fecha tradicional de siembra a días antes o días después de su fecha

tradicional, esto se debe a que las lluvias no se manifiestan en la época ni en la cantidad que solían presentarse.

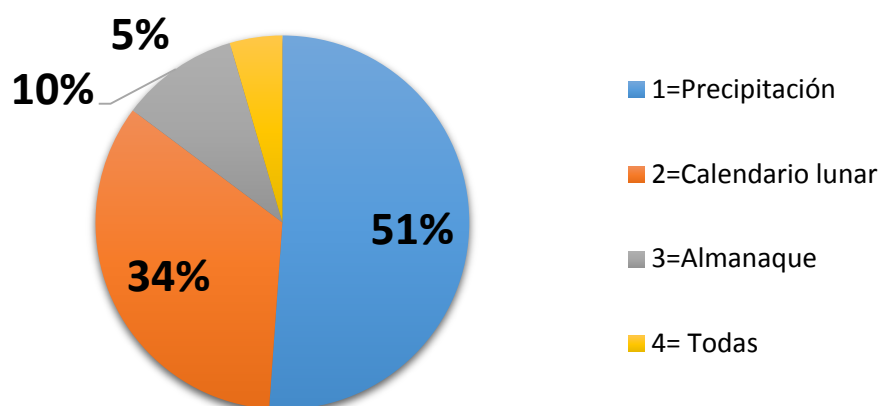


Figura 26. Porcentaje de agricultores que toman varios criterios antes de la siembra.

A través de la encuesta se determinó que las fechas de siembra de mayor frecuencia para el cultivo de fréjol son: la 1^{era} semana de noviembre con un 22 %, la 1^{era} y la 2^{da} semana de octubre con un 15 %. Las fechas que fueron seleccionadas son aquellas que mayoritariamente inician en octubre por la época lluviosa que sirven para la germinación del cultivo (Figura 27).

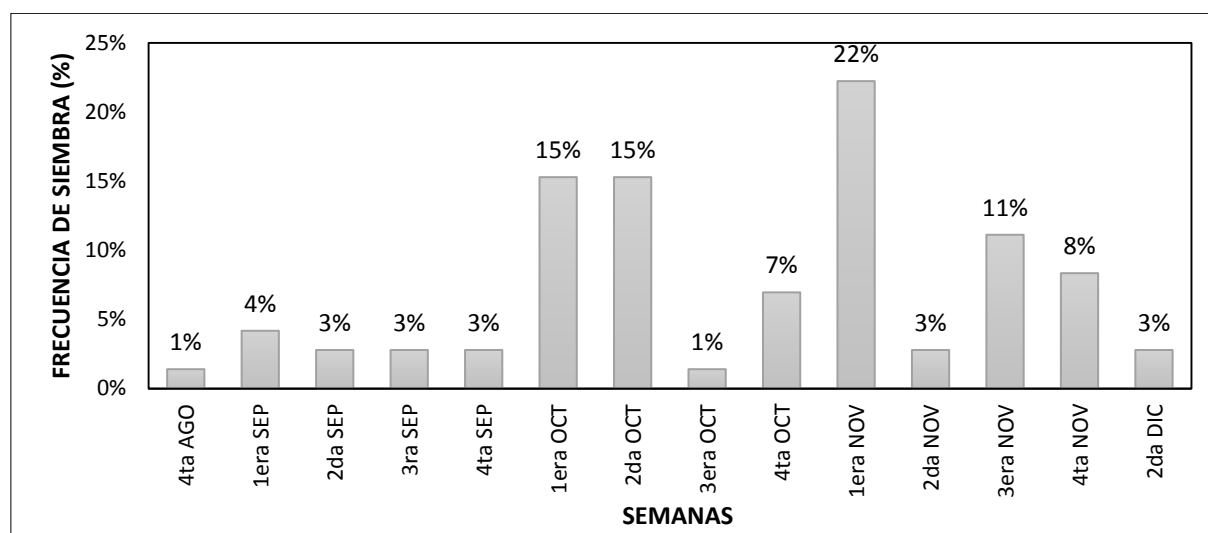


Figura 27. Fechas de siembra de mayor frecuencia del cultivo de fréjol.

Para la siembra del cultivo de maíz, la fecha de mayor frecuencia fue la 1^{era} semana de noviembre con un 19 %, la 1^{era} y 2^{da} semana de octubre con un 15 % (Figura 28), las mismas fechas que el cultivo de fréjol ya que cuenta con sistemas mixtos de siembra maíz y fréjol juntos. Además, las fechas cambian dependiendo del clima de la zona y las culturas del agricultor, ese es el motivo para que existan varias fechas de siembra.

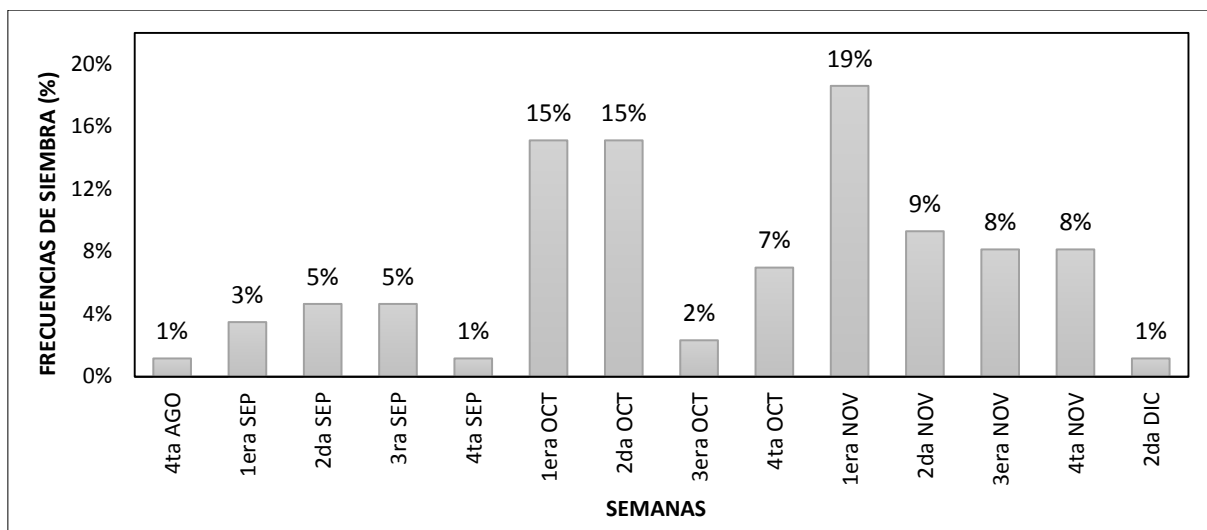


Figura 28. Fechas de siembra de mayor frecuencia del cultivo de maíz.

El cultivo de papa en las zonas encuestadas no fue muy común encontrarlo, por lo que, sus fechas de siembra son muy variadas, los agricultores mencionaban que tenían muchos problemas, que es más difícil de manejar este cultivo y que últimamente no han tenido buenos resultados, el 14 % de agricultores mencionan que siembran el cultivo de papa la 1^{era} semana de octubre y el 11 % señala entre la 2^{da} semana de septiembre, 2^{da} semana de octubre y la 1^{era} semana de noviembre (Figura 29).

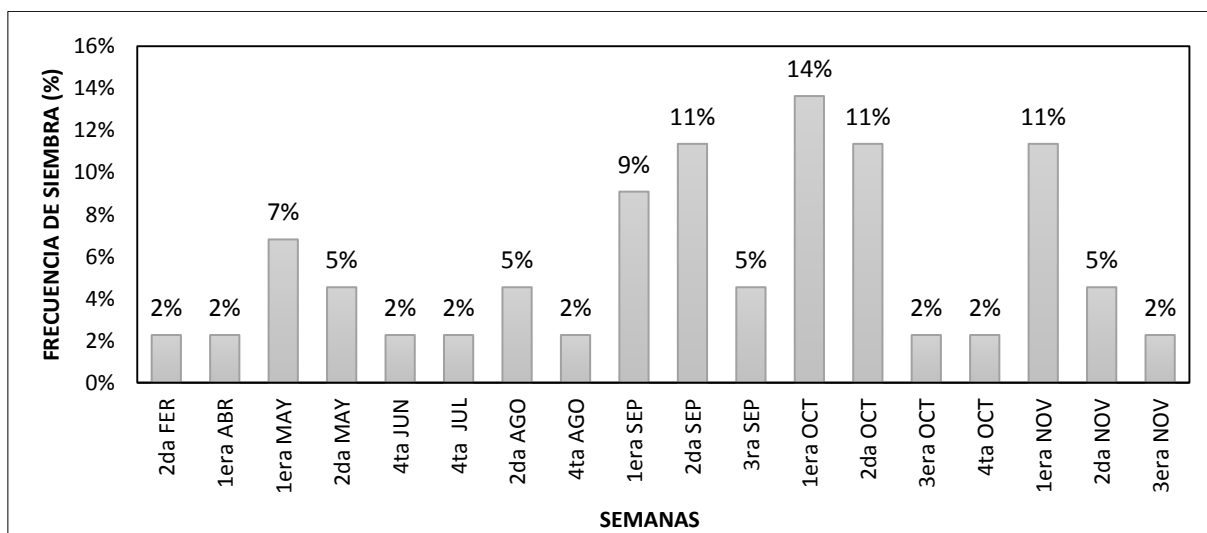


Figura 29. Fechas de siembra de mayor frecuencia del cultivo de papa.

4.3. Fechas de siembra según el Balance Hídrico

4.3.1. Cultivo de fréjol

Para el cultivo de fréjol (Tabla 15) se realizó el balance hídrico para las treinta fechas de siembra. Las fechas de siembra que presentan un exceso de agua son 01 de febrero con 134.49 mm, 07 de

febrero con 134.23 mm, 14 de febrero 130.94 mm, 21 de febrero 123.91 mm y 28 de febrero 116.07 mm. La fecha de siembra de mayor frecuencia del agricultor es el 01 de noviembre y presenta un déficit hídrico de 90.83 mm.

Tabla 15. Balance Hídrico del cultivo de fréjol, para diferentes fechas de siembra.

Fecha de siembra	Evapotranspiración real (mm)	Precipitación efectiva (mm)	Balance hídrico (mm)
01-SEP	237.33	152.49	-84.84
07-SEP	233.69	160.53	-73.16
14-SEP	230.70	166.32	-64.38
21-SEP	211.38	172.85	-38.53
28-SEP	210.50	172.14	-38.36
01-OCT	228.09	174.95	-53.14
07-OCT	228.62	173.03	-55.59
14-OCT	229.36	162.78	-66.57
21-OCT	230.18	156.99	-73.19
28-OCT	231.55	148.76	-82.78
01-NOV	232.82	141.99	-90.83
07-NOV	232.82	141.99	-90.83
14-NOV	234.81	140.36	-94.45
21-NOV	235.45	138.85	-96.60
28-NOV	234.97	141.99	-92.98
01-DIC	234.50	143.43	-91.07
07-DIC	232.88	149.10	-83.78
14-DIC	230.52	157.41	-73.11
21-DIC	227.87	163.23	-64.64
28-DIC	224.38	172.42	-51.97
01-ENE	222.51	175.89	-46.62
07-ENE	219.69	186.13	-33.56
14-ENE	217.37	188.01	-29.36
21-ENE	215.27	191.49	-23.79
28-ENE	213.67	197.10	-16.57
01-FEB	213.07	347.56	134.49
07-FEB	212.60	346.83	134.23
14-FEB	212.35	343.29	130.94
21-FEB	212.65	336.56	123.91
28-FEB	213.33	329.40	116.07

Para analizar el déficit hídrico que se presenta en la fecha de siembra de mayor frecuencia del agricultor, se tiene (Figura 30) que al inicio del ciclo del cultivo, la precipitación efectiva es mayor a la evapotranspiración real, lo cual es favorable para la etapa de germinación del fréjol, pero 30 días después se presenta un déficit hasta finales del ciclo; Abd *et al.* (2017), manifiestan que la etapa fenológica de mayor importancia es la etapa de floración y por lo tanto, se debe evitar la

escasez de agua, debido a que el cultivo tiende a abortar sus flores y como consecuencia se obtiene bajos rendimientos.

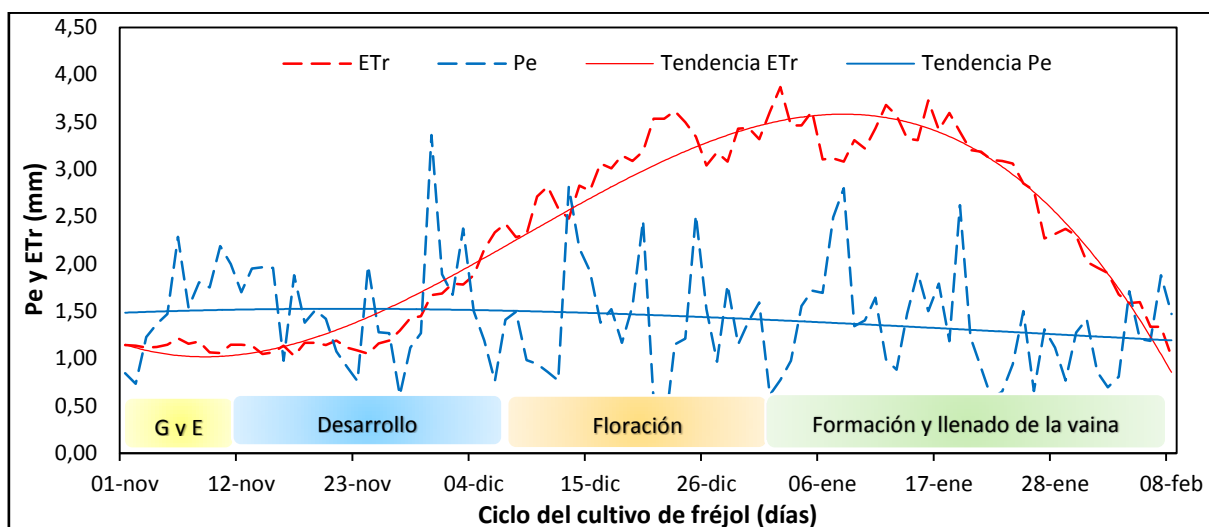


Figura 30. Pe y ETr para el cultivo de fréjol. Fecha de siembra del agricultor. G y E= Germinación y Emergencia.

En la Figura 31, se representa una de las mejores fechas de siembra propuestas para el cultivo de fréjol, la cual, presenta un exceso de agua de 134.49 mm; la fecha de siembra es el 01 de febrero y el ciclo del cultivo termina el 10 de mayo; como se observa, la precipitación efectiva en todo el ciclo es mayor a la evapotranspiración real, por lo cual, el agricultor estaría aprovechando al máximo las lluvias y por lo tanto, el cultivo se desarrollará en mejores condiciones.

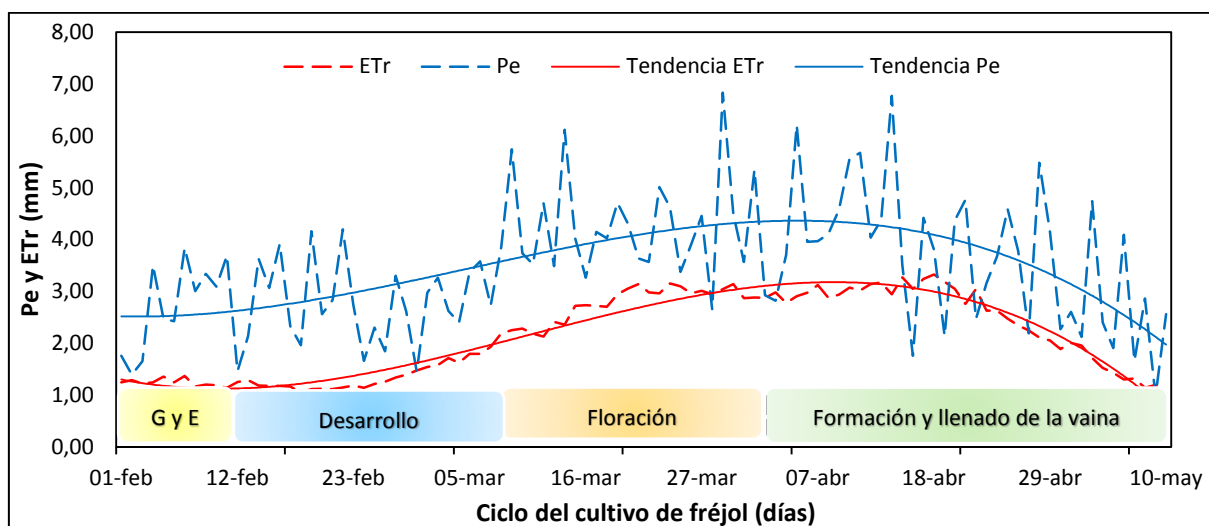


Figura 31. Pe y ETr para el cultivo de fréjol. Fecha de siembra 01 de febrero. G y E = Germinación y Emergencia.

En la Figura 32, se presenta una alternativa muy clara para la fecha de siembra del fréjol, el ciclo del cultivo inicia el 07 de febrero y concluye el 16 de mayo, presentándose un exceso de agua de 134.23 mm; como se observa, la precipitación efectiva es mayor a la evapotranspiración real en

todo el ciclo del cultivo, por lo cual, existe la suficiente cantidad de agua para cubrir los requerimientos hídricos en todas las etapas fenológicas de los cultivos, asegurando buenos rendimientos.

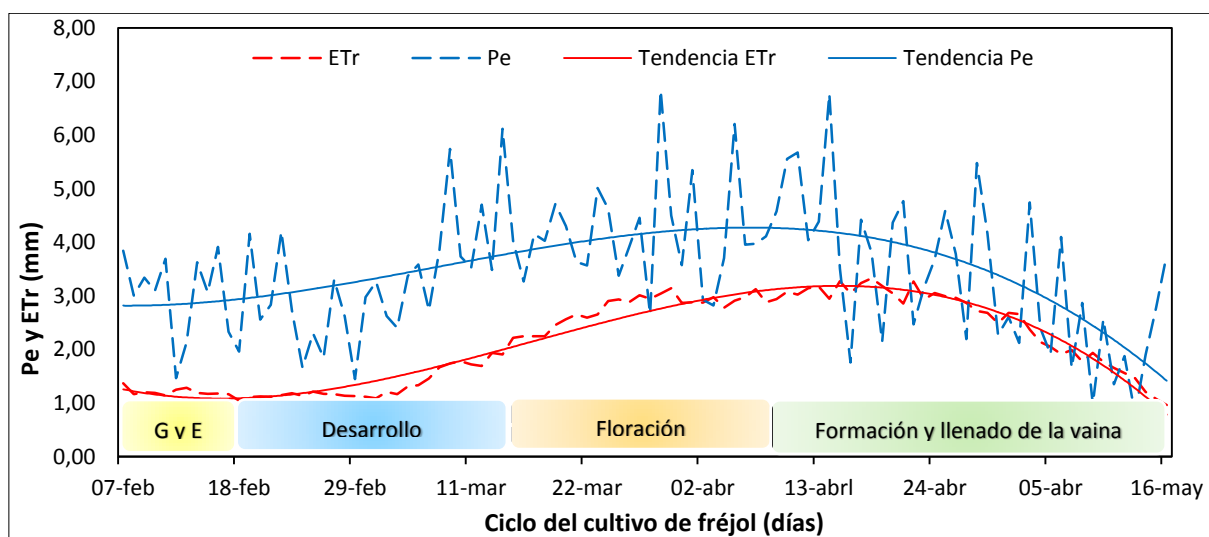


Figura 32. Pe y ETr para el cultivo de fréjol. Fecha de siembra 07 de febrero. G y E = Germinación y Emergencia.

En la Figura 33, es otra opción de fecha de siembra para el cultivo de fréjol inicia el 14 de febrero, con un exceso de agua de 130.94 mm, donde la precipitación efectiva es mayor que la evapotranspiración real en todo el ciclo.

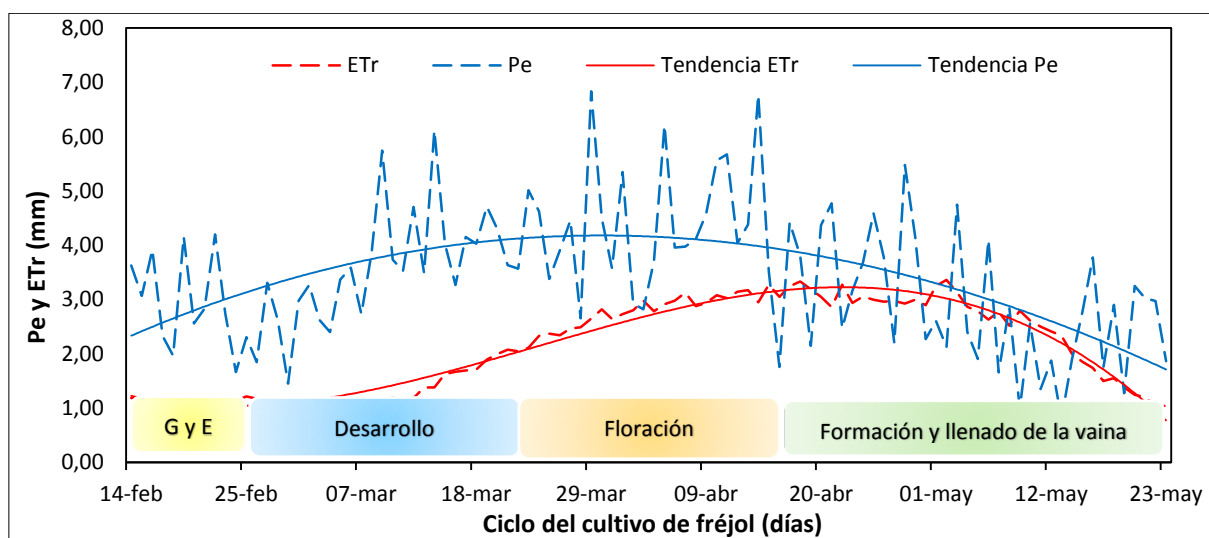


Figura 33. Pe y ETr para el cultivo de fréjol. Fecha de siembra 14 de febrero. G y E= Germinación y Emergencia.

En la Figura 34, se observa la Pe y ETr para la fecha de siembra 21 de febrero, con un exceso de agua de 123.91 mm, siendo la precipitación efectiva mayor a la evapotranspiración real, a finales, la fase de formación de los granos existe un pequeño déficit hídrico de por lo menos 7 días entre

el 8 de mayo y el 15 de mayo el cual no afectaría ya que es después de ese período se presentan precipitaciones.

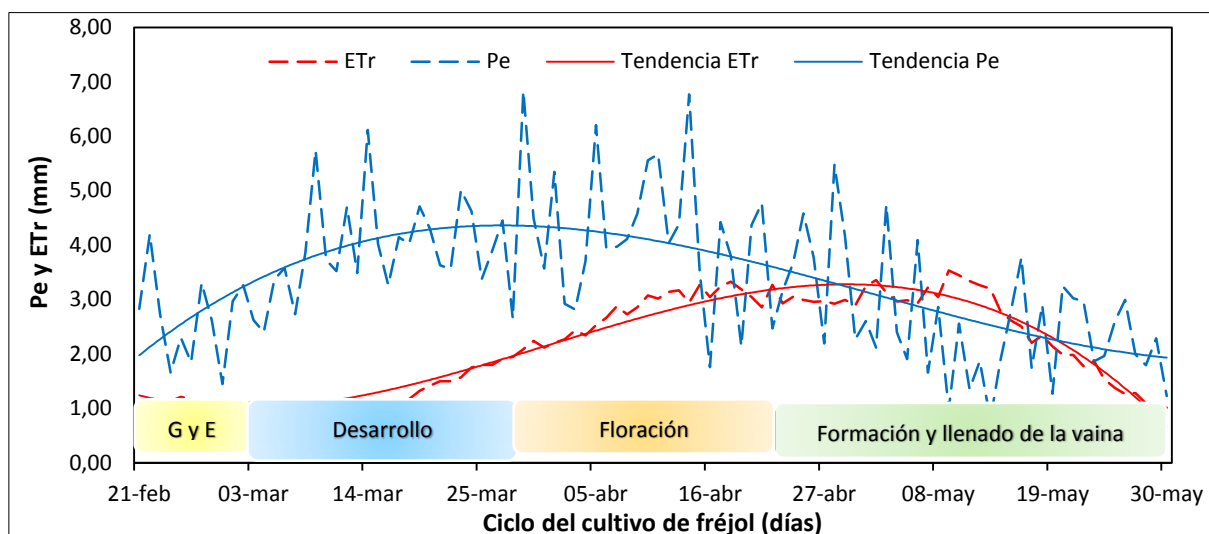


Figura 34. Pe y ETr para el cultivo de fréjol. Fecha de siembra 21 de febrero. G y E = Germinación y Emergencia.

En la Figura 35, se presenta la variación de Pe y ETr para la fecha de siembra 28 de febrero, con un exceso de agua de 116. 07 mm; esta es la última de las fechas donde en germinación, desarrollo vegetativo, floración y parte de la formación de la vaina, la precipitación efectiva es mayor a la evapotranspiración real.

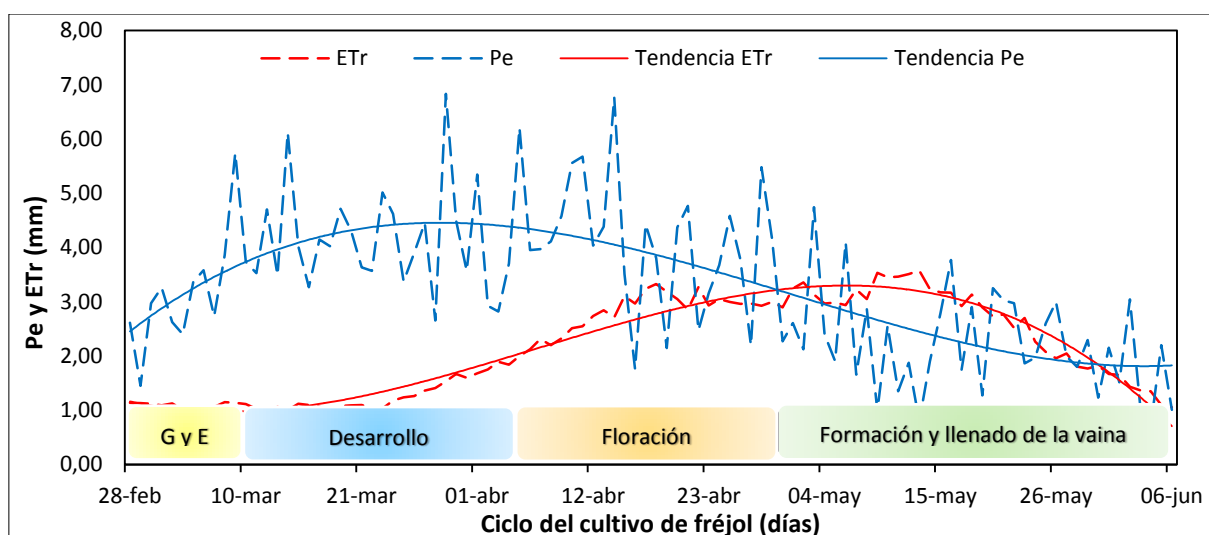


Figura 35. Pe y ETr para el cultivo de fréjol. Fecha de siembra 28 de febrero. G y E = Germinación y Emergencia.

4.3.2. Cultivo de maíz

Para el cultivo de maíz se realizó el balance hídrico para de las treinta fechas de siembra. Las fechas de siembra que presentan la mejor distribución de Precipitación efectiva en todo el ciclo

son: 28 de septiembre con 71.39 mm, 01 de enero con 198.70 mm, 07 de enero con 209.66 mm y el 14 de enero con 226.30 mm. La fecha de mayor frecuencia del agricultor es el 01 de noviembre con un déficit hídrico de 192.75 mm (Tabla 16).

Tabla 16. Balance Hídrico del cultivo de maíz, para diferentes fechas de siembra.

Fecha de siembra	Evapotranspiración real (mm)	Precipitación efectiva (mm)	Balance Hídrico (mm)
01-SEP	534.26	263.14	-271.12
07-SEP	528.61	270.09	-258.51
14-SEP	523.03	282.45	-240.58
21-SEP	379.84	296.82	-83.02
28-SEP	376.97	305.58	-71.39
01-OCT	513.51	307.67	-205.84
07-OCT	511.41	313.51	-197.90
14-OCT	508.50	310.28	-198.22
21-OCT	506.00	315.66	-190.34
28-OCT	503.98	313.71	-190.27
01-NOV	502.97	310.21	-192.75
07-NOV	501.25	312.57	-188.68
14-NOV	499.99	316.18	-183.81
21-NOV	499.24	322.90	-176.34
28-NOV	497.77	332.03	-165.74
01-DIC	496.67	332.64	-164.03
07-DIC	495.27	333.45	-161.82
14-DIC	495.07	326.43	-168.64
21-DIC	497.52	315.85	-181.67
28-DIC	500.42	309.56	-190.86
01-ENE	502.98	304.28	-198.70
07-ENE	506.97	297.31	-209.66
14-ENE	513.08	286.78	-226.30
21-ENE	520.82	275.76	-245.06
28-ENE	530.06	270.09	-259.97
01-FEB	535.98	434.37	-101.60
07-FEB	544.84	423.33	-121.50
14-FEB	556.74	405.86	-150.88
21-FEB	569.98	387.43	-182.54
28-FEB	582.44	375.70	-206.74

En la Figura 36, se representa la fecha del agricultor para el 01 de noviembre, donde la evapotranspiración real es mayor a la precipitación efectiva, por lo tanto, se tiene un déficit hídrico en todas las etapas fenológicas cultivo. Giménez (2012), sostiene que el cultivo de maíz es sensible al déficit hídrico en la etapa de floración, ya que en esta etapa se fija el número de granos que inciden en el rendimiento, además que, la falta de agua en la floración perjudica la liberación de polen y la emergencia de los estigmas.

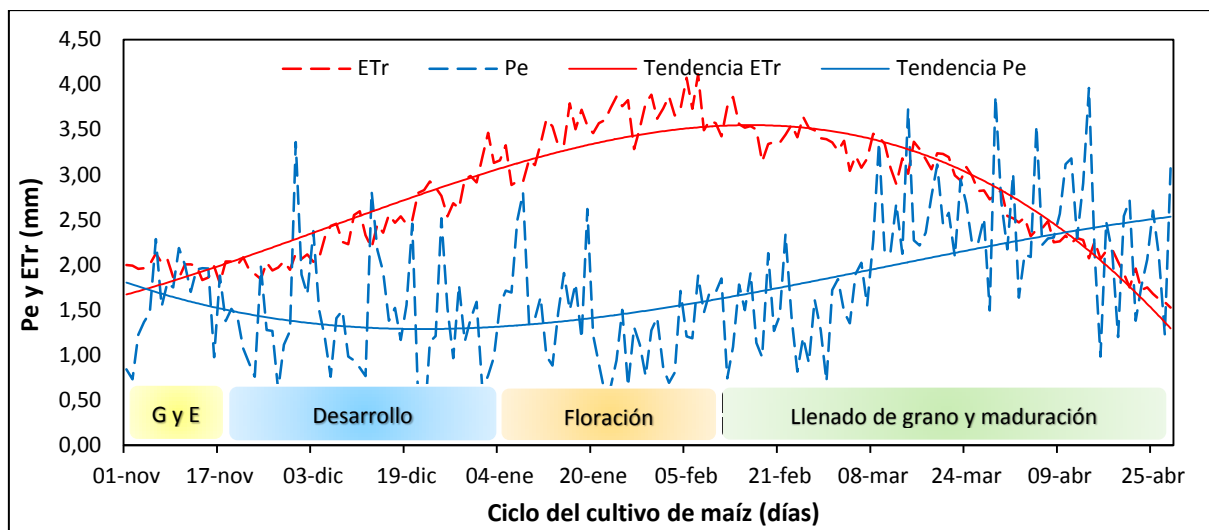


Figura 36. Pe y ETr para el cultivo de maíz. Fecha de siembra del agricultor. G y E = Germinación y Emergencia.

En la Figura 37, se presenta una de las mejores fechas de siembra seleccionadas para el cultivo de maíz, con un déficit hídrico de 71.39 mm. El ciclo del cultivo inicia el 28 de septiembre y concluye el 25 de marzo, como se observa, partes del ciclo la evapotranspiración real supera la precipitación efectiva, considerando que la precipitación efectiva se almacenará en el suelo y así se cubrirá parte del requerimiento hídrico del cultivo. Giménez (2012), sugiere que con buenas precipitaciones entre la germinación y la floración se almacena el 40 % de la MS total y el 60 % restante se almacena desde esta etapa hasta la madurez fisiológica del cultivo.

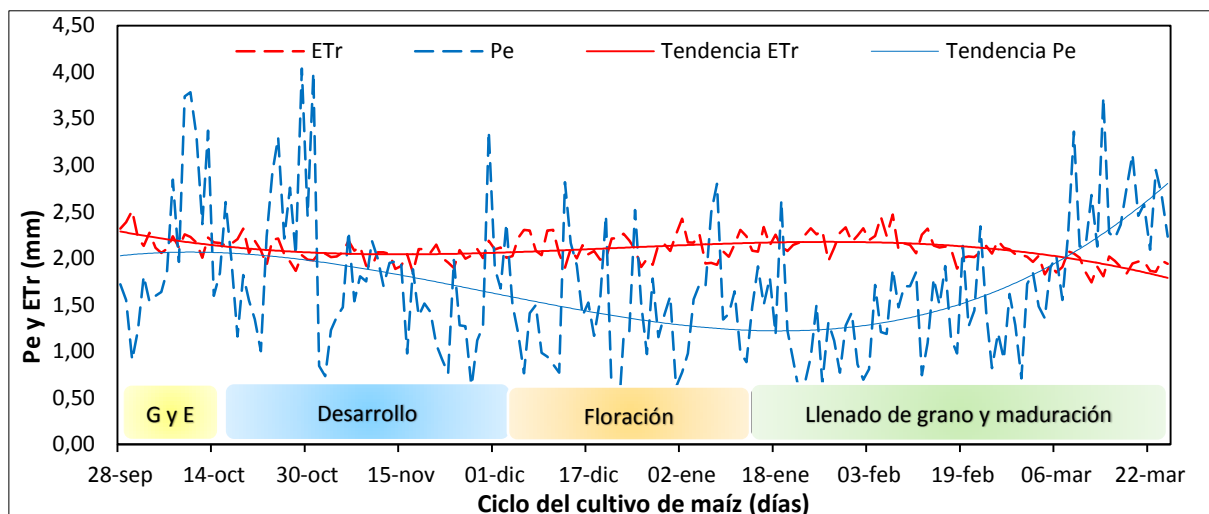


Figura 37. Pe y ETr para el cultivo de maíz. Fecha de siembra 28 de septiembre. G y E = Germinación y Emergencia.

En la Figura 38, se presenta otra de las posibles fechas de siembra con un déficit hídrico de 198.70 mm. El ciclo del cultivo inicia el 01 de enero y concluye el 29 de junio, en el cual, la precipitación

efectiva es mayor a la evapotranspiración real a inicios y a mediados del ciclo, donde se encuentran las fases críticas del cultivo, germinación y floración, además, por las abundantes precipitaciones que ocurren desde marzo hasta abril, el agua se almacenará en el suelo y será suficiente para la etapa de formación de la mazorca. El déficit hídrico en las fases de llenado de grano tiene menor influencia sobre el rendimiento a causa de que no afectan el número de granos por superficie, sino que afecta el peso del grano (Giménez, 2012).

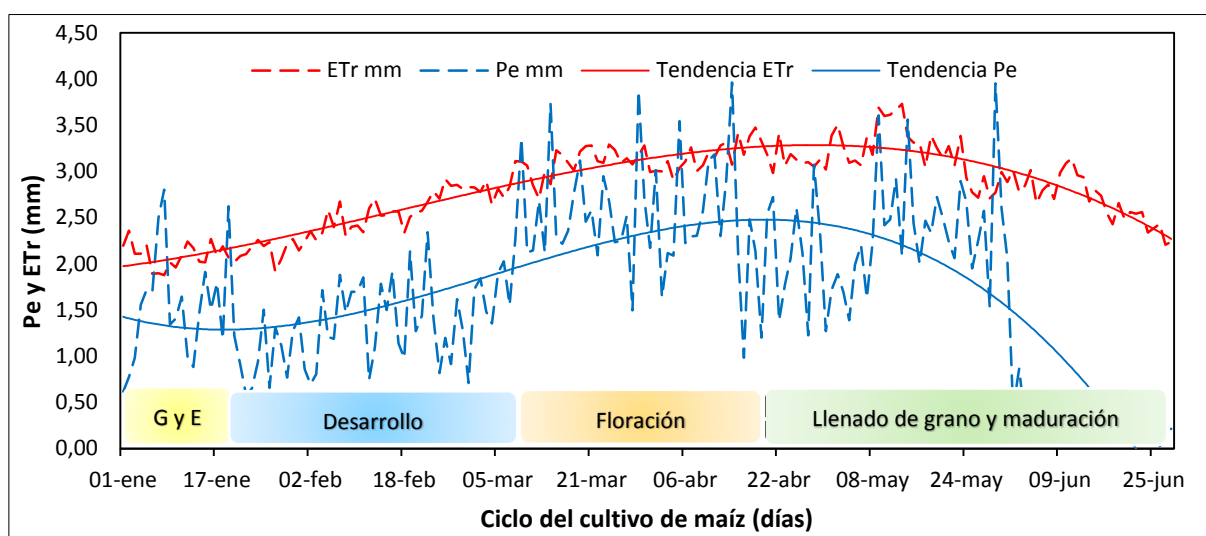


Figura 38. Pe y ETr para el cultivo de maíz. Fecha de siembra 01 de enero. G y E = Germinación y Emergencia.

En la Figura 39, se representa otra alternativa para la fecha de siembra, presenta un déficit hídrico de 209.66 mm. El ciclo del cultivo inicia el 07 de enero y termina el 04 de julio; a pesar que esta fecha de siembra presenta un mayor déficit hídrico que la fecha del agricultor, la distribución de las precipitaciones en todo el ciclo del cultivo son la clave para que el cultivo pueda mantenerse sin presentar síntomas de estrés hídrico. El agricultor debe tomar en cuenta la recolección del agua (cosecha de lluvias) para la etapa de desarrollo del cultivo; Giménez (2012), afirma que las deficiencias hídricas en etapas posteriores a la floración presentan menos efectos en los rendimientos.

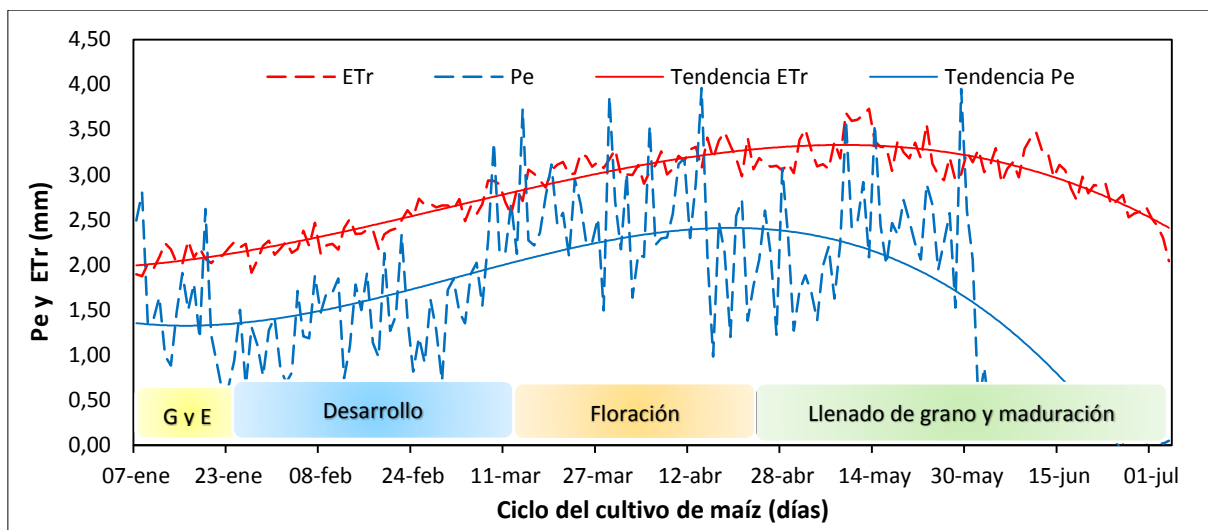


Figura 39. Pe y ETr para el cultivo de maíz. Fecha de siembra 07 de enero. G y E= Germinación y Emergencia.

En la Figura 40, se representa otra de las fechas de siembra propuestas y presenta un déficit hídrico de 226.30 mm. El ciclo del cultivo inicia el 14 de enero y concluye el 11 de julio; se observa, que la precipitación efectiva es mayor a la evapotranspiración real en ciertos períodos del ciclo del cultivo, como en la germinación, floración y llenado del grano. La cantidad de agua acumulada en el suelo servirá en los períodos donde ETr sea mayor a Pe. Las deficiencias hídricas en el maíz causan diferentes efectos en los rendimientos de acuerdo a la intensidad y en la etapa fenológica que se encuentra (Giménez, 2012).

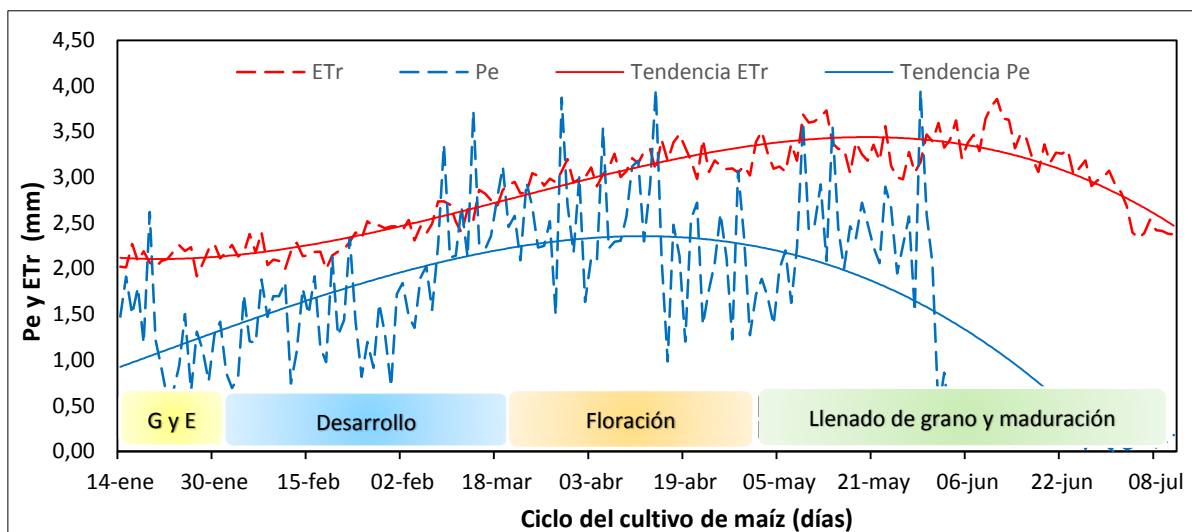


Figura 40. Pe y ETr para el cultivo de maíz. Fecha de siembra 14 de enero. G y E = Germinación y Emergencia.

Sharma *et al.* (2010), sostienen que, de 2 a 4 semanas sin precipitaciones durante las etapas críticas de crecimiento y llenado de la mazorca, provocan daños parciales o completos en el cultivo que se notaran en el rendimiento.

4.3.3. Cultivo de papa

Para el cultivo de papa se realizó el balance hídrico para las treinta fechas de siembra. Las fechas de siembra que se presentan el menor déficit hídrico son: 28 de septiembre con 81.23 mm, 28 de diciembre 101.44 mm, 01 de enero con 108.16 mm, 07 de enero con 117.29 mm. La fecha de mayor frecuencia del agricultor es el 01 de octubre con déficit hídrico de 160.54 mm (Tabla 17).

Tabla 17. Balance Hídrico del cultivo de papa, para diferentes fechas de siembra.

Fecha de siembra	Evapotranspiración real (mm)	Precipitación efectiva (mm)	Balance Hídrico (mm)
01-SEP	442.96	241.59	-201.38
07-SEP	439.85	248.56	-191.30
14-SEP	436.80	256.16	-180.64
21-SEP	351.17	261.95	-89.22
28-SEP	348.42	267.19	-81.23
01-OCT	430.50	269.96	-160.54
07-OCT	428.77	276.75	-152.02
14-OCT	426.39	272.61	-153.78
21-OCT	423.46	277.48	-145.98
28-OCT	420.68	278.85	-141.83
01-NOV	419.89	277.84	-142.04
07-NOV	418.46	282.79	-135.67
14-NOV	416.30	285.05	-131.25
21-NOV	414.47	287.15	-127.32
28-NOV	412.73	294.72	-118.01
01-DIC	412.50	296.46	-116.04
07-DIC	410.61	302.59	-108.02
14-DIC	408.25	309.86	-98.39
21-DIC	407.02	311.69	-95.32
28-DIC	407.32	305.88	-101.44
01-ENE	409.61	300.95	-108.66
07-ENE	412.52	295.23	-117.29
14-ENE	418.57	285.03	-133.54
21-ENE	426.00	273.99	-152.01
28-ENE	432.85	268.36	-164.49
01-FEB	437.69	427.23	-10.46
07-FEB	445.28	417.21	-28.07
14-FEB	456.55	400.15	-56.40
21-FEB	469.08	381.01	-88.07
28-FEB	482.12	364.92	-117.20

En la Figura 41, se muestra la fecha de siembra de mayor frecuencia del agricultor, con un déficit hídrico de 160.54 mm, el ciclo del cultivo inicia el 01 de octubre y concluye el 13 de marzo; como se observa, la precipitación efectiva es mayor a la evapotranspiración real solo en los 18 días iniciales del ciclo, lo cual, solo es suficiente para la brotación y emergencia, luego, la

evapotranspiración real es mayor a la precipitación efectiva, llegando a tener un déficit hídrico en todo el ciclo vegetativo. Almeida *et al.* (2015), afirman que el cultivo de papa es sensible al déficit hídrico y que la humedad en el suelo no debe ser menor del 30 a 35 %, especialmente en la fase fenológica de formación y crecimiento de los tubérculos.

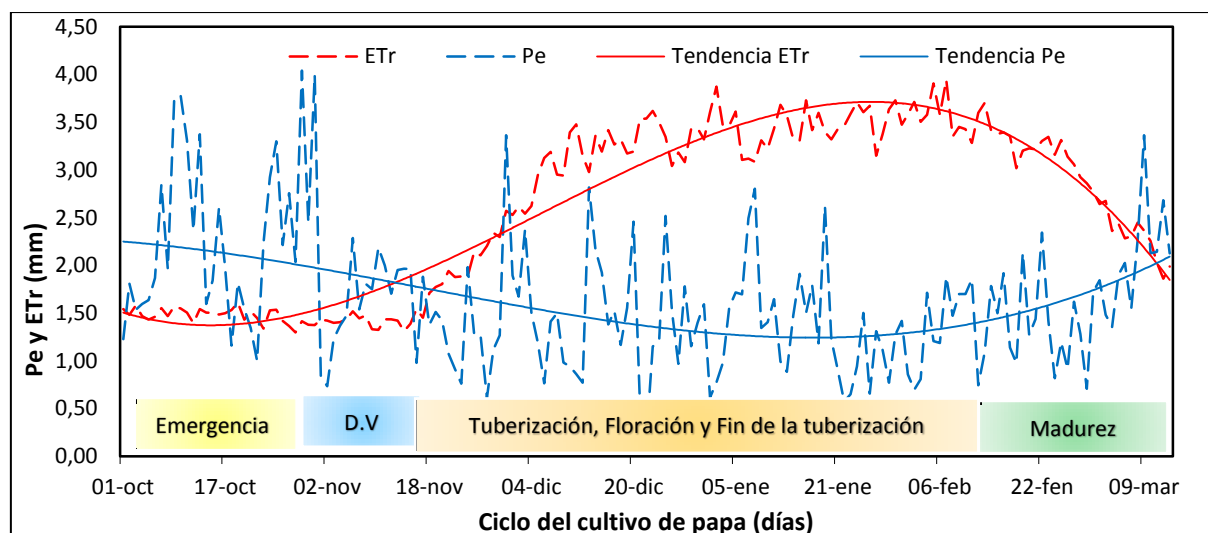


Figura 41. Pe y ETr para el cultivo de papa. Fecha de siembra del agricultor. D.V = Desarrollo Vegetativo.

En la Figura 42, se presenta una de las mejores fechas de siembra seleccionadas, la cual, tiene un déficit hídrico de 81.23 mm, que es menor al déficit hídrico de la fecha del agricultor. El ciclo del cultivo inicia el 28 de septiembre y termina el 10 de marzo; en este caso, la precipitación efectiva se muestra muy variada en el ciclo y tiende a ser mayor a la evapotranspiración real en varias etapas, representando una buena distribución del recurso hídrico, ya que no presenta períodos muy largos de déficit hídrico.

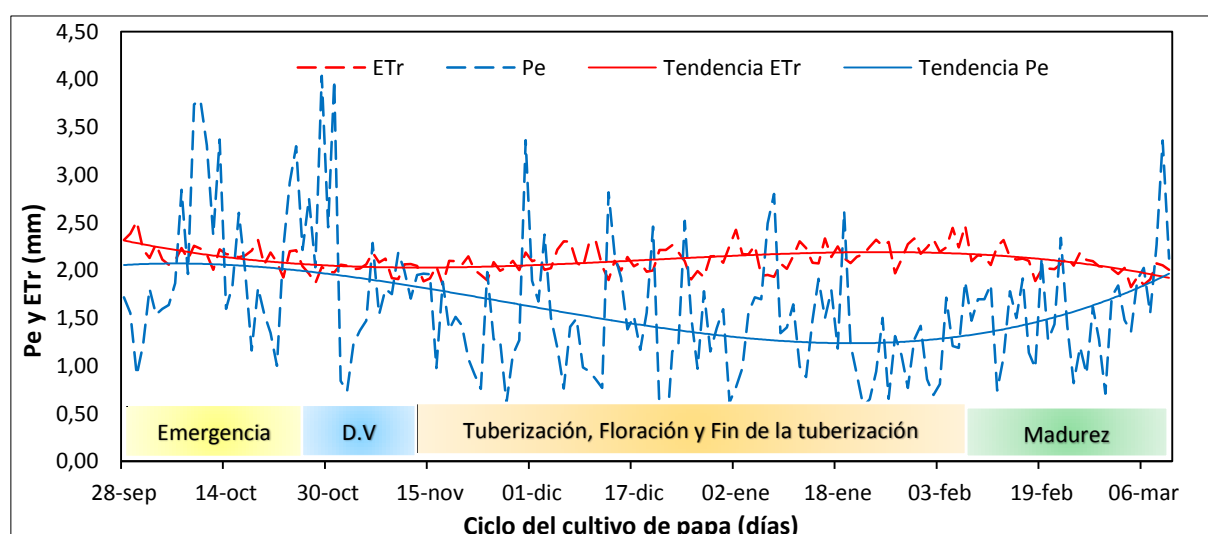


Figura 42. Pe y ETr para el cultivo de papa. Fecha de siembra 28 de septiembre. D.V = Desarrollo Vegetativo.

En la Figura 43, se representa otra de las mejores fechas de siembra para el cultivo de papa, la cual presenta un déficit hídrico de 101.44 mm. El ciclo del cultivo inicia el 28 de diciembre y concluye el 09 de junio; como se observa, la precipitación efectiva es mayor a la evapotranspiración real al inicio del cultivo, en la etapa de germinación y en la mitad del ciclo vegetativo. Según FAO (2008), el déficit hídrico en la formación y desarrollo de los tubérculos disminuye la producción, antes que un déficit hídrico al inicio del crecimiento vegetativo.

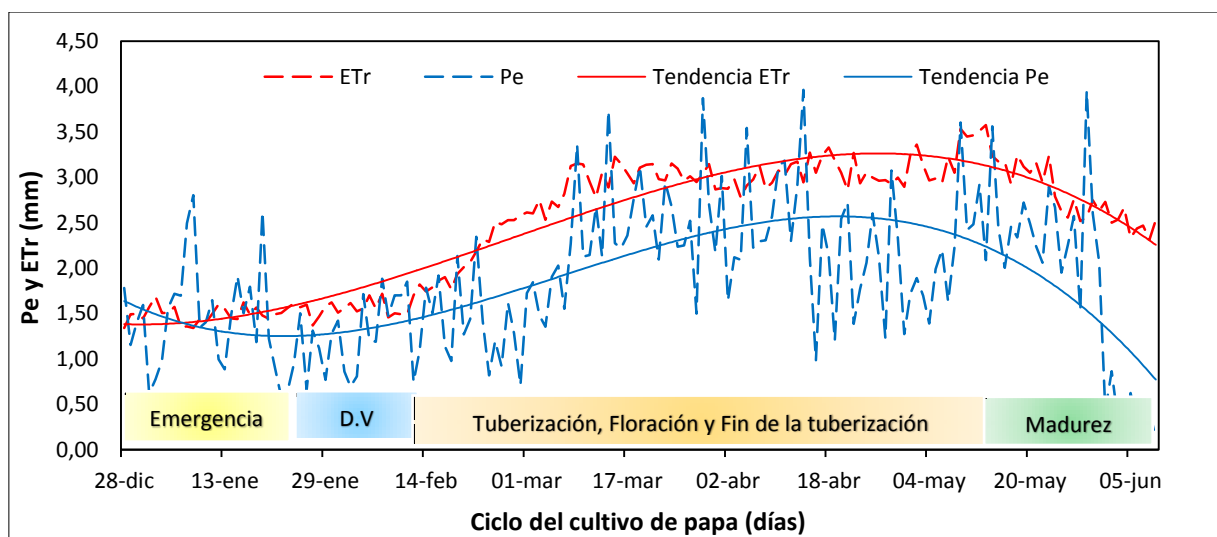


Figura 43. Pe y ETr para el cultivo de papa. Fecha de siembra 28 de diciembre. D.V = Desarrollo Vegetativo.

En la Figura 44, se muestra otra de las mejores fechas de siembra para el cultivo de papa, el cual tiene un déficit hídrico de 108.66 mm. El ciclo del cultivo inicia el 01 de enero y concluye el 13 de junio; se observa que, la precipitación efectiva es mayor a la evapotranspiración real en varias etapas fenológicas del cultivo principalmente al inicio en la etapa media y en el crecimiento de los tubérculos, lo cual, presenta una buena distribución del agua en todo el ciclo vegetativo del cultivo.

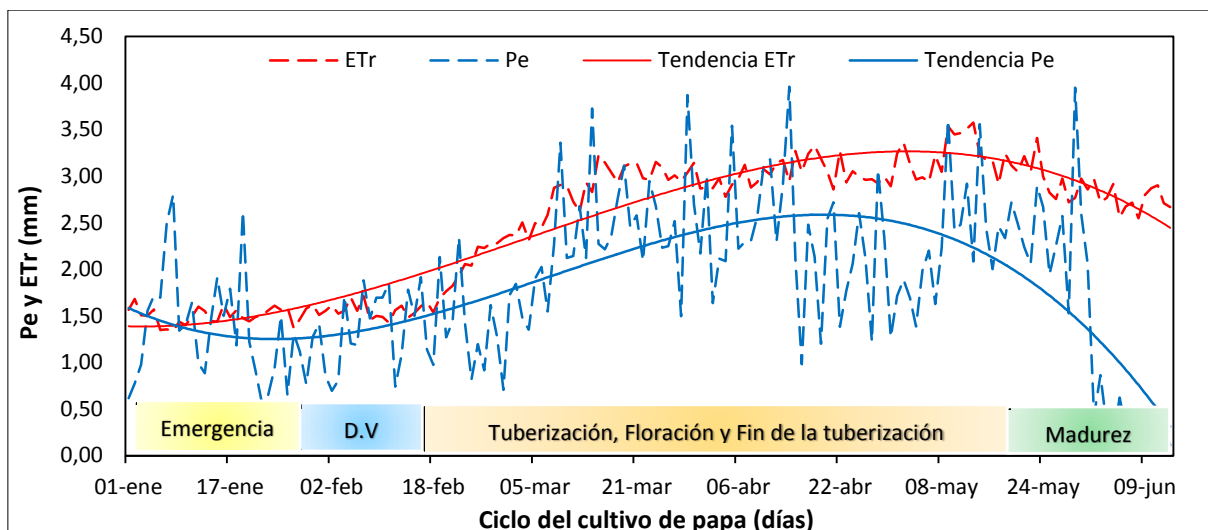


Figura 44. Pe y ETr para el cultivo de papa. Fecha de siembra 01 de enero. D.V= Desarrollo Vegetativo.

En la Figura 45, se muestra otra de las mejores fechas de siembras seleccionadas para el cultivo de papa, la cual presentó un déficit hídrico de 117.29 mm. El ciclo de cultivo inicia el 07 de enero y concluye el 19 de junio; se observa una buena distribución de la precipitación efectiva hasta casi la mitad el ciclo vegetativo. FAO (2008), sostiene que el riego tiene una influencia directa con el tamaño del tubérculo, por lo tanto, es importante en la etapa de formación del tubérculo cantidades abundantes de agua.

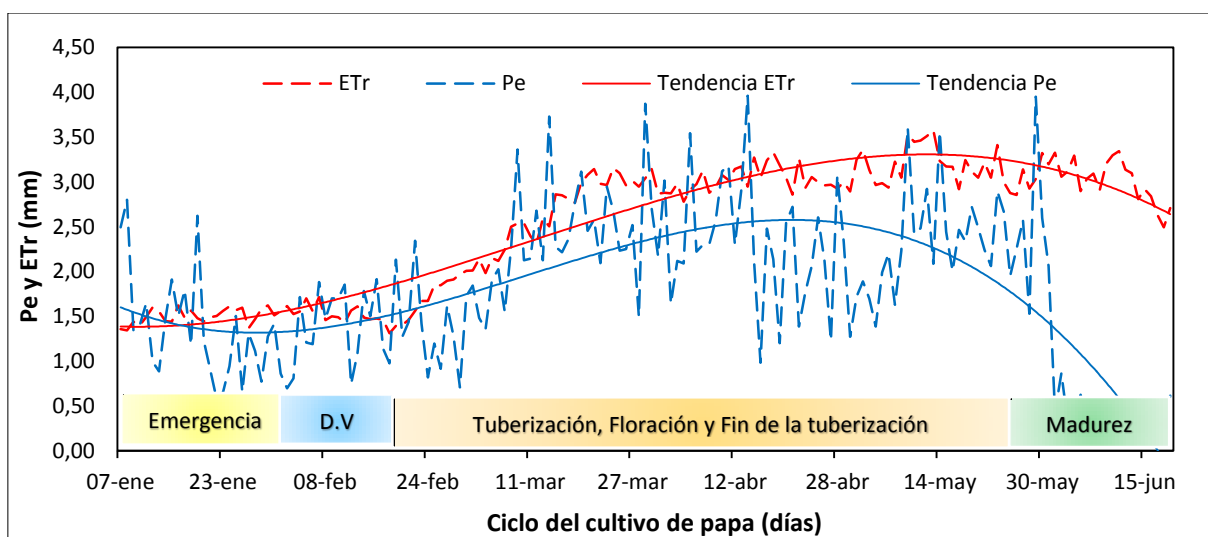


Figura 45. Pe y ETr para el cultivo de papa. Fecha de siembra 07 de enero. D.V = Desarrollo Vegetativo.

En la Tabla 18, se presenta el resumen de la fecha de siembra de mayor frecuencia del agricultor y las mejores fechas seleccionadas a través del Balance Hídrico, en las cuales la precipitación efectiva es mayor a la evapotranspiración real en las etapas críticas del cultivo, las nuevas fechas representan una medida de adaptación frente a la variación y al cambio climático presente en la

parroquia de Tumbaco. Sharma *et al.* (2010), concluyen que la producción al temporal podría incrementarse en un 50 % si se planifica las fechas de siembra, se aplica un riego suplementario en la época seca y algunas buenas prácticas agrícolas.

Tabla 18. Fechas de siembra seleccionadas a través del Balance Hídrico.

Cultivo	Fecha del Agricultor	Mejores fechas de siembra
Fréjol	01 de noviembre	01 de febrero 07 de febrero 14 de febrero 21 de febrero 28 de febrero
Maíz	01 de noviembre	28 de septiembre 01 de enero 07 de enero 14 de enero
Papa	01 de octubre	28 de septiembre 28 de diciembre 01 de enero 07 de enero

V. CONCLUSIONES

El desarrollo de la presente investigación permitió obtener las siguientes conclusiones:

1. De acuerdo a los resultados obtenidos, se pone en evidencia que el cambio climático existe y que se presenta de diferente manera según la región o localidad. Se determinó que en la parroquia de Tumbaco en la estación meteorológica “La Tola” existe una variación climática, de tendencia negativa para la temperatura mínima en los meses de abril y noviembre; tendencia negativa para la evaporación del tanque clase A en los meses de enero a mayo, de junio a agosto, noviembre y diciembre; una tendencia positiva para la humedad relativa en el mes de marzo.
2. Según las encuestas, las fechas de siembra de mayor frecuencia de los agricultores para cultivos de ciclo corto al temporal se mantienen por tradición, aunque los agricultores aceptan que el cambio climático está presente. La fecha de siembra de mayor frecuencia para el cultivo de fréjol fue la primera semana de noviembre; para el cultivo de maíz, la primera semana de noviembre y para el cultivo de papa, la primera semana de octubre.
3. Las fechas de siembra óptimas determinadas a partir del balance hídrico fueron: para el cultivo de fréjol, cualquier semana del mes de febrero; para el cultivo de maíz, la última semana de septiembre o las tres primeras semanas de enero y para el cultivo de papa, la última semana de septiembre o diciembre y/o la primera semana de enero.

VI. RECOMENDACIONES

Se sugieren las siguientes recomendaciones:

1. Que se continúe con la investigación para otros cultivos y se incluya más factores climáticos que se vean influenciados por la variabilidad climática.
2. Para la encuesta realizada a los agricultores, debería contener más preguntas acerca del cultivo, el tipo de semilla que utiliza, la razón por la que siembra en sus fechas tradicionales, modificaría su fecha de siembra tradicional, cuál es su rendimiento promedio, realiza la cosecha de agua para sus cultivos, entre otras preguntas donde se integre los conocimientos ancestrales y la experiencia del agricultor, que ayudarían para la discusión de los resultados obtenidos.
3. Que las autoridades de la Parroquia de Tumbaco conjuntamente con programas de vinculación de la Facultad de Ciencias Agrícolas realicen charlas sobre medidas de adaptación al cambio climático, como temas de cosecha de agua, coberturas vegetales, zanjas de infiltración, a causa de que las fechas de siembra del de los agricultores son difíciles de modificarlas por el vínculo de la tradición.

VII. RESUMEN

La agricultura al temporal es una práctica agrícola que consiste en aprovechar los recursos hidrológicos como las precipitaciones en la estación invernal (Loyer *et al.*, 1993). Se conoce que la agricultura de temporal representa el 75 % de la superficie cultivada (Reddy & Syme, 2015) y genera alrededor del 70 % de los alimentos básicos en el mundo. En el Ecuador, la agricultura de temporal representa una superficie agropecuaria del 78.62 % aproximadamente, siendo zonas explotadas usualmente por pequeños agricultores (INEC, 2017).

Los cultivos de ciclo corto, fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.), maíz (*Zea mays* L.) y papa (*Solanum tuberosum* L.), son los cultivos más importantes en el Ecuador, ya que participan en las principales actividades agrícolas, generan ingresos y forman parte de la dieta alimentaria de algunas zonas rurales.

La agricultura de temporal es más afectada que la agricultura convencional por condiciones climáticas, principalmente porque es determinante en el crecimiento, la productividad agrícola y el rendimiento. El cambio climático debido a la influencia de los seres humanos, las emisiones de gases de efecto invernadero, el aumento del CO₂ en la atmósfera y la degradación del suelo, presentan cambios en el clima principalmente en la temperatura, aumentando 0.8 °C durante el siglo pasado y cuatro tercios de este incremento se produjeron en las tres últimas décadas.

La investigación se realizó en la Parroquia de Tumbaco, mediante el análisis de la serie histórica de cinco variables monitoreadas en la estación meteorológica “La Tola”: temperatura mínima, temperatura máxima, humedad relativa, evaporación del tanque clase A y precipitación, se realizaron las estadísticas descriptivas para el promedio mensual de la serie histórica de cada parámetro climático mediante el software InfoStat en el cual se calculó la media, mínima, máxima, coeficiente de variación y la desviación estándar, así mismo se realizó un análisis de la tendencia mediante el test de Mann Kendall, esta es una prueba no paramétrica para datos agrometeorológicos e hidrometeorológicos, el cual detecta tendencia lineal y no lineal (Shadmani *et al.*, 2012). Se realizó una encuesta a 88 agricultores de las zonas del Ilaló y San José de Collaqui. Para cada cultivo se analizó cinco fechas de siembra para seis meses iniciando desde septiembre hasta febrero, proporcionando un total de 30 escenarios por cultivo para cálculos del balance hídrico, se determinó la precipitación probable al 75 % según el método del USDA y para la evapotranspiración de referencia se utilizó el método del tanque evaporímetro, el coeficiente del cultivo se determinó mediante el método de la FAO, el balance hídrico se calculó para los 30 escenarios de cada cultivo, en el cual un valor positivo significa exceso hídrico y un valor negativo significa déficit hídrico.

En los resultados de variabilidad climática: la temperatura mínima presentó una tendencia decreciente en los meses de abril y noviembre, la temperatura máxima no presentó ninguna tendencia, la humedad relativa presentó una tendencia creciente en el mes de marzo, la evaporación presentó una tendencia decreciente casi en todos los meses excluyendo el mes de mayo y octubre y la precipitación no presentó ninguna tendencia; para los resultados de la encuesta se obtuvo que las fechas de siembra de mayor frecuencia de los agricultores para el cultivo de fréjol y maíz es la 1^{era} semana de noviembre y para el cultivo de papa la 1^{era} semana de octubre, además, se evidenció que los agricultores creen en la existencia del cambio climático y tratan de modificar sus fechas de siembra según sus conocimientos ancestrales y experiencias. En el análisis del balance hídrico, las mejores fechas de siembra seleccionadas para el cultivo de fréjol son: 1, 7, 14, 21 y 28 de febrero, presentando un exceso de agua durante todo el ciclo del cultivo; para el cultivo de maíz, las mejores fechas de siembra son: 28 de septiembre, 1, 7 y 14 enero, en la cual, la Pe se distribuye de manera equilibrada en el ciclo del cultivo, proporcionando una buena cantidad de agua en las etapas críticas del cultivo; para el cultivo de papa, las mejores fechas de siembra pueden ser 28 de septiembre, 28 de diciembre, 1 y 7 de enero, las cuales presentan una buena distribución de las precipitaciones en las etapas críticas del cultivo y presentan bajos déficit hídricos en comparación con la fecha de mayor frecuencia del agricultor.

En base a los resultados obtenidos se recomienda extender la investigación y que las autoridades pertinentes realicen charlas o capacitaciones a los agricultores sobre las medidas de adaptación al cambio climático.

VIII. REFERENCIAS

- Abd, M., Alshikh, A., M, H. I., Abdel, S., Salih, R., Kadhim, A. H., & M, K. A. A. (2017). Adapataion of Sowing Date for Improving Sorghum Yield in Rainfed Areas in Sudan Using AQUACROP Model, 9(8), 220–228. <https://doi.org/10.5539/jas.v9n8p220>
- Aldo, M. (2015). Variabilidad climática interdecadal en el Pacífico. *Istituto Geofísico Del Perú -IGP*, 2, 1–6. Obtenido de http://www.met.igp.gob.pe/publicaciones/Divulgacion_PPR_El_Nino_IGP_201501.pdf
- Alencar da Silva, K. M., & Silva Nóbrega, R. (2017). Tendencia Pluviométrica Y Concentración Estacional De Precipitación En La Cuenca Hidrográfica Del Río Moxotó – Pernamcuco – Brasil. *Revista Geográfica de América Central*, 1(58), 295. <https://doi.org/10.15359/rgac.58-1.12>
- Almeida, F. M. De, Pereira, G. J. G., Sánchez, J. A., Torres, W., Noval, D., Cabrera, J. A., & Hernández, A. (2015). El desarrollo del cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L .) En diferentes municipios de la provincia HUAMBO , ANGOLA Major issues that affect the development of the cultivation of the potato (*Solanum tuberosum* L .) in different municipalities of the pr, 36(4), 100–107.
- Altieri, M. A., Nicholls, C. I., Henao, A., & Lana, M. A. (2015). Agroecology and the design of climate change-resilient farming systems. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(3), 869–890. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0285-2>
- Alzate, D., Rojas, E., Mosquera, J., & Ramón, J. (2015). Cambio Climático y variabilidad climática para el períodos 1981-2010 en la Cuenca de los Ríos Zulia y Pamplonita, Norte de Santander-Colombia. *Luna Azul*, 40, 127–153.
- Armenta, G., Villa, J., & Jácome, P. (2016). Proyecciones climáticas de precipitación y temperatura para Ecuador, bajo distintos escenarios de cambio climático.
- Baca, L. A. (2016). La producción de maíz amarillo en el Ecuador y su relación con la soberanía alimentaria, 105. Obtenido de [http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/12652/La producción de maíz amarillo en el Ecuador y su relacion con la soberania alimentaria - Luis Al.pdf?sequence=1%0Ahttp://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/6270/T-PUCE-6451.pdf?seque](http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/12652/La%20produccion%20de%20maiz%20amarillo%20en%20el%20Ecuador%20y%20su%20relacion%20con%20la%20soberania%20alimentaria%20-%20Luis%20Al.pdf?sequence=1%0Ahttp://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/6270/T-PUCE-6451.pdf?seque)
- Badillo, M. (2018). Análisis del cambio climático y su incidencia en el sector agrícola en el Ecuador en el año 2017, 1–122.
- Bastidas, W. (2016). “Guía climática agroecoturística para el cantón Quito-provincia de Pichincha 2014,” 107.
- Burt, C. M. (1999). Irrigation water balance fundamentals. *Bioresource and Agricultural Engineering*, 93407, 1–13.
- Cadilhac, L., Torres, R., Calles, J., Vanacker, V., & Calderón, E. (2017). Desafíos para la investigación sobre el cambio climático en Ecuador. *Neotropical Biodiversity*, 3(1), 168–181. <https://doi.org/10.1080/23766808.2017.1328247>
- Carrillo, F. (2014). *Evaluacion de la resisitencia a enfremedades y potencial agronómico de poblaciones de fréjol (Phaseolus vulgaris L.) de Cotacachi y Saraguro. Imbabura.*
- Casares, M. V., & De cado, L. I. (2018). Análisis De Tendencias De Variables Indicadoras De Calidad De Agua Para El Riachuelo (Cuenca Matanza-Riachuelo, Argentina). *Revista Internacional de*

- Contaminación Ambiental*, 34(4), 651–665. <https://doi.org/10.20937/rica.2018.34.04.08>
- Cleves, J., Toro, J., & Martínez, L. (2016). Los balances hídricos agrícolas en modelos de simulación agroclimáticos. Una revisión analítica. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 10(1), 149–163. <https://doi.org/10.17584/rcch.2016v10i1.4460>
- Dahmen, E. R., & Hall, M. J. (1990). Screening of Hydrological Data: Tests for Stationary and Relative Consistency, 58.
- De La Mora, C., Flores, H., Ruíz, J., Chávez, Á., & Figueroa, A. (2018). Impacto del cambio climático en las tendencias de la evaporación en la presa La Vega, Teuchitlán, Jalisco, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, (10), 1993–2005. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i10.1039>
- Devendra, C. (2016). Rainfed agriculture: its importance and potential in global food security. *UTAR AGRICULTURE SCIENCE*, 2(2).
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., & Gonzalez, L. (2005). *Estadística para las Ciencias Agropecuarias* (Sexta Edic). Obtenido de file:///C:/Users/ACER E5/Downloads/Estadística_para_las_Ciencias_Agropecuarias_-_Di_Rienzo.pdf
- FAO. (1978). Effective rainfall in irrigated agriculture. *IRRIGATION AND DRAINAGE PAPER*, 25. Obtenido de <http://www.fao.org/docrep/X5560E/x5560e00.htm#Contents>
- FAO. (1989). Balance Hidrico y necesidades de agua pra los cultivos imporantes de la Cuenca del rio Cienega. Obtenido de <http://www.fao.org/docrep/field/009/ar841s/ar841s.pdf>
- FAO. (1997). La agricultura y los cambios climáticos. Obtenido de <http://www.fao.org/spanish/newsroom/factfile/index.html>
- FAO. (2006). Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. *Estudio de Riego y Drenaje*, 5-7, 89-100. <https://doi.org/10.1590/1983-40632015v4529143>
- FAO. (2008). Año Internacional de la papa. Obtenido de <http://www.fao.org/potato-2008/es/lapapa/cultivo.html>
- Feldman, A. J. L. (2016). *Cambio climático y agricultura: una revisión de la literatura con énfasis en América Latina* * (Vol. LXXXIII). <https://doi.org/10.20430/ete.v83i332.231>
- Flores, H., Flores, H., & Ojeda, W. (2014). Predicción fenológica del cultivo de papa mediante tiempo térmico. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 37, 149–157. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802014000200006&nrm=iso
- GAD. (2015). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial de Tumbaco*.
- Garcés, F. (2013). Cuantificación de enfermedades en líneas promisorias y variedades de fréjol en Quevedo, Ecuador. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*. scieloco.
- Giménez, L. (2012). Producción de maíz con estrés hídrico provocado en diferentes etapas de desarrollo. *Agrociencia Uruguay*, 16, 92–102. Obtenido de http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2301-15482012000200011&nrm=iso
- GLOBE. (2005). Protocolo de Humedad Relativa, 1–19.
- IDEAM-UNAL. (2018). La Variabilidad Climática Y El Cambio Climático En Colombia, 28. Obtenido de <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023778/variabilidad.pdf>

- INAMHI. (2018). *Estación Meteorológica Quito, variables Climatológicas*.
- INEC. (2017). Módulo de tecnificación Agropecuaria ESPAC 2017.
- INIAP-CIP. (2002). El Cultivo de la papa en Ecuador, 231. Retrieved from <http://cipotato.org/wp-content/uploads/Documentacion PDF/Pumisacho y Sherwood Cultivo de Papa en Ecuador.pdf>
- Inzunza, J., Bernardo, L., Valdez, R., Mendoza, B., Sánchez, I., & García, G. (2011). La variación de las temperaturas extremas en la “Comarca Lagunera” y cercanías. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 17, 41–61. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-40182011000500006&nrm=iso
- Irmak, S., & Haman, D. Z. (2003). Evapotranspiration: Potential or Reference? *Cooperative Extension Service, IFAS, University of Florida, ABE343*, 1–2. <https://doi.org/10.1007/s12274-016-1294-4>
- Kisekka, I., Migliaccio, K. W., Dukes, M. D., Crane, J. H., & Schaffer, B. (2013). Evapotranspiration-Based Irrigation for Agriculture : Crop Coefficients of Some Commercial Crops in Florida 1, 1–4.
- Lawrimore, J. H., & Peterson, T. C. (2000). Pan Evaporation Trends in Dry and Humid Regions of the United States. *Journal of Hydrometeorology*, 1(6), 543–546. [https://doi.org/10.1175/1525-7541\(2000\)001<0543:PETIDA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1525-7541(2000)001<0543:PETIDA>2.0.CO;2)
- Lindao, V., Jave, L., Retuerto, M., Ramos, E., & Jinez, P. (2018). Efecto De La Humedad Relativa Y La Temperatura En La Aplicación De Insecticidas Organofosforados Y Carbamatos E Impacto En La Colinesterasa De Agro Productores De Tomate (*Solanum Lycopersicum L .*), 14(24), 204–215. <https://doi.org/10.19044/esj.2018.v14n24p204>
- López, M., & Martín, M. (2011). Secretaría de Investigación y Postgrado Tesis de Maestría en Ciencias Hídricas.
- Lopez, P. (2004). Población Muestra Y Muestreo. *Punto Cero*, 9(8), 69–74. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2008.07.006>
- Loyer, J., Estrada, A., Jasso, I., & Moreno, D. (1993). Estudio de los factores que influyen los escurrimientos y el uso del agua en la Región Hidrológica 36, 372.
- MAE. (2013). Beneficios del Manejo Sostenible de la Tierra, 1–32.
- Magallanes, R., López, A., & Galván, C. (2017). Análisis de la evaporación y cambio climático en el centro de México. *Nova Scientia*, 9, 76–93. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-07052017000100076&nrm=iso
- MAGAP. (2014). Boletín Situacional maíz suave choclo, 5. Obtenido de <http://sinagap.agricultura.gob.ec/phocadownloadpap/cultivo/2013/maiz.pdf>
- Marothia, D. K. (2009). *Rainfed agriculture. Indian Journal of Agricultural Economics* (Vol. 64). <https://doi.org/10.1017/S0014479709990664>
- Matute, C. (2013). Evaluación agronómica de quince cultivares de fréjol arbustivo (*Phaseolus vulgaris L.*), en la Estación Experimental del Austro “Bullcay”; mediante el apoyo de la investigación participativa con enfoque de género para la sierra sur del Ecuador, 155.
- Monteros, A. (2016). Rendimientos de papa en el Ecuador primer ciclo 2016 (diciembre-junio).

- Dirección de Análisis y Procesamiento de La Información., Coordinación General Del Sistema de Información Nacional, 2016, 10. Obtenido de http://sinagap.agricultura.gob.ec/pdf/estudios_agroeconomicos/rendimiento_papa2016.pdf
- O’Gorman, P. A. (2015). Precipitation Extremes Under Climate Change. *Current Climate Change Reports*, 1(2), 49–59. <https://doi.org/10.1007/s40641-015-0009-3>
- Oñate, L. (2016). “Duración de las etapas fenológicas y profundidad radicular del cultivo de maíz (*Zea mays*) var .blanco harinoso criollo , bajo las condiciones climáticas del cantón Cevallos .” Universidad Tecnica de Ambato. Obtenido de <http://repo.uta.edu.ec/bitstream/123456789/18305/1/Tesis-116> Ingeniería Agronómica - CD 371.pdf
- Ortiz, R., Tamayo, C., Chile, M., & Méndez, A. (2018). Coeficiente del tanque evaporímetro Clase A para estimar la evapotranspiración de referencia para el valle de Tumbaco. *Revista Siembra*, 5, 14–23. Obtenido de <http://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/SIEMBRA/issue/view/95/V5>
- Otero, J. S. (2010). *Introducción al Diseño Experimental*. Quito-Ecuador. Obtenido de jsanchez@puce.edu.ec
- Oweis, T. Y., Wani, S., Bruggeman, A., Farahani, J., Karlberg, L., & Qiang, Z. (2007). Managing water in rainfed agriculture. *Water for Food, Water for Life. A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture*, (October 2014), 315–352. <https://doi.org/10.4324/9781849773799>
- Puertas, O., Carvajal, Y., & Quintero, A. (2011). Study of Monthly Rainfall Trends in the Upper and Middle Cauca River Basin , Colombia. *Dyna*, 169, 112–120.
- Reddy, V. R., & Syme, G. J. (2015). *Integrated Assessment of Scale Impacts of Watershed Intervention*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800067-0.00001-3>
- Riediger, J., Breckling, B., Nuske, R. S., & Schröder, W. (2014). Will climate change increase irrigation requirements in agriculture of Central Europe? A simulation study for Northern Germany. *Environmental Sciences Europe*, 26(1), 18. <https://doi.org/10.1186/s12302-014-0018-1>
- Rojas, E., Arce, B., Peña, A., Boshell, F., & Ayarza, M. (2010). Cuantificación e interpolación de tendencias locales de temperatura y precipitación en zonas alto andinas de Cundinamarca y Boyacá (Colombia). *Revista Corpoica: Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 11(2), 173–182. <https://doi.org/10.21930/rcta.vol11>
- Ron, S., Merino, A., & Ortiz, D. (2019). Anfibios del Ecuador. *Museo de Zoología, Pontificia Universidad Católica Del Ecuador*. Obtenido de <https://bioweb.bio/faunaweb/amphibiaweb>
- Salcedo, S. H., Cepeda, R. D. V., Contreras, J. A. V., Sáenz, E. O., Rodríguez, H., Fuentes, R., & Moreno, M. P. (2007). Cambio Climático: Comportamiento De Las Temperaturas Extremas Y La Evaporación En Nuevo Leon, Mexico Climate Change: Extreme Temperatures Behavior and Evaporation in Nuevo Leon, Mexico. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 6, 155–163. Obtenido de <http://www.chapingo.mx/revistas/revistas/articulos/doc/rchszaVI1001.pdf%5Cnhttp://files/1140/rchszaVI1001.pdf>
- Salmi, T., Maata, A., Anttila, P., Ruoho-Airola, T., & Amnell, T. (2002). *Detecting Trends of Annual Values of Atmospheric Pollutants by the Mann-Kendall Test and Sen’s Slope Estimates*.

- Segerer, C., & Villodas, R. (2006). Las Precipitaciones. *Hidrología I*, 26.
- Serrano, S., Zuleta Mediavilla, D., Moscoso, V., Jácome, P., Palacios, E., & Villacis, M. (2012). *Análisis estadístico de datos meteorológicos mensuales y diarios para la determinación de variabilidad climática y cambio climático en el Distrito Metropolitano de Quito. La Granja* (Vol. 16). <https://doi.org/10.17163/lgr.n16.2012.03>
- Shadmani, M., Marofi, S., & Roknian, M. (2012). Trend Analysis in Reference Evapotranspiration Using Mann-Kendall and Spearman's Rho Tests in Arid Regions of Iran. *Water Resources Management*, 26(1), 211–224. <https://doi.org/10.1007/s11269-011-9913-z>
- Sharma, B. R., Rao, K. V., Vittal, K. P. R., Ramakrishna, Y. S., & Amarasinghe, U. (2010). Estimating the potential of rainfed agriculture in India : Prospects for water productivity improvements. *Agricultural Water Management*, 97, 23–30. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.08.002>
- SIPA. (2017). Ministerio de Agricultura y Ganadería, Cifras Agroproductivas. Obtenido de <http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/cifras-agroproductivas>
- Trasmonte, G., Silva, Y., Segura, B., & Latínez, K. (2010). Variabilidad de las temperaturas máximas y mínimas en el valle del río Mantaro. *Istituto Geofísico Del Perú*, 1–15.
- Valdez Cepeda, R., Hernández Ramírez, D., Mendoza, B., Valdés Galicia, J., & Maravilla, D. (2003). FRACTALITY OF MONTHLY EXTREME MINIMUM TEMPERATURE. *Fractals*, 11(02), 137–144. <https://doi.org/10.1142/S0218348X0300163X>
- Vitousek, P. M., Chadwick, O. A., Hilley, G., Kirch, P. V., & Ladefoged, T. N. (2010). Erosion, Geological History, and Indigenous Agriculture: A Tale of Two Valleys. *Ecosystems*, 13(5), 782–793. <https://doi.org/10.1007/s10021-010-9354-1>
- Ye, L., Xiong, W., Li, Z., Yang, P., Wu, W., Yang, G., ... Tang, H. (2013). Climate change impact on China food security in 2050. *Agronomy for Sustainable Development*, 33(2), 363–374. <https://doi.org/10.1007/s13593-012-0102-0>

IX. ANEXOS

Anexo 1. Descripción de los escenarios.

N° de Tratamientos	Variable 1: Cultivos	Variable 2: Meses	Variable 3: Fechas de siembra	Descripción
1	FRÉJOL	Septiembre	1	F- SEP- 1
2			7	F- SEP- 7
3			14	F- SEP- 14
4			21	F- SEP- 21
5			28	F- SEP- 28
6		Octubre	1	F- OCT-1
7			7	F- OCT-7
8			14	F- OCT-14
9			21	F- OCT-21
10			28	F- OCT-28
11		Noviembre	1	F-NOV-1
12			7	F-NOV-7
13			14	F-NOV-14
14			21	F-NOV-21
15			28	F-NOV-28
16		Diciembre	1	F-DIC-1
17			7	F-DIC-7
18			14	F-DIC-14
19			21	F-DIC-21
20			28	F-DIC-28
21		Enero	1	F-ENE-1
22			7	F-ENE-7
23			14	F-ENE-14
24			21	F-ENE-21
25			28	F-ENE-28
26		Febrero	1	F-FER-1
27			7	F-FER-7
28			14	F-FER-14
29			21	F-FER-21
30			28	F-FER-28
31	MAÍZ	Septiembre	1	M-SEP-1
32			7	M-SEP-7
33			14	M-SEP-14
34			21	M-SEP-21
35			28	M-SEP-28
36		Octubre	1	M-OCT-1
37			7	M-OCT-7
38			14	M-OCT-14
39			21	M-OCT-21
40			28	M-OCT-28
41		Noviembre	1	M-NOV-1
42			7	M-NOV-7
43			14	M-NOV-14
44			21	M-NOV-21
45			28	M-NOV-28

Continuación del Anexo 1: Descripción de los escenarios.

N° de Tratamientos	Variable 1: Cultivos	Variable 2: Meses	Variable 3: Fechas de siembra	Descripción
46	MAÍZ	Diciembre	1	M-DIC-1
47			7	M-DIC-7
48			14	M-DIC-14
49			21	M-DIC-21
50			28	M-DIC-28
51		Enero	1	M-ENE-1
52			7	M-ENE-7
53			14	M-ENE-14
54			21	M-ENE-21
55			28	M-ENE-28
56		Febrero	1	M-FER-1
57			7	M-FER-7
58			14	M-FER-14
59			21	M-FER-21
60			28	M-FER-28
61	PAPA	Septiembre	1	P-SEP-1
62			7	P-SEP-7
63			14	P-SEP-14
64			21	P-SEP-21
65			28	P-SEP-28
66		Octubre	1	P-OCT-1
67			7	P-OCT-7
68			14	P-OCT-14
69			21	P-OCT-21
70			28	P-OCT-28
71		Noviembre	1	P-NOV-1
72			7	P-NOV-7
73			14	P-NOV-14
74			21	P-NOV-21
75			28	P-NOV-28
76		Diciembre	1	P-DIC-1
77			7	P-DIC-7
78			14	P-DIC-14
79			21	P-DIC-21
80			28	P-DIC-28
81		Enero	1	P-ENE-1
82			7	P-ENE-7
83			14	P-ENE-14
84			21	P-ENE-21
85			28	P-ENE-28
86		febrero	1	P-FER-1
87			7	P-FER-7
88			14	P-FER-14
89			21	P-FER-21
90			28	P-FER-28

Anexo 2. Encuesta



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

Ingeniería Agronómica



Encuesta de Producción de cultivos de ciclo corto (maíz, papa, fréjol)

Objetivo: Determinar las fechas de siembra al temporal para los cultivos de fréjol, maíz y papa en la parroquia Tumbaco – Pichincha.

*Si cuenta con alguno de los cultivos de ciclo corto como fréjol, maíz y papa responda las preguntas.

A.- Información geográfica y muestral	
1.- N° de Cuestionario	
2.- Provincia	
3.- Cantón	
4.- Parroquia	
5.- Zona	

B.- Información general del Agricultor

6.- Edad del Agricultor	años
-------------------------	------

7.- Sexo	1. Hombre
	2. Mujer

8.- Nivel de escolaridad	1. Ninguna
	2. Primaria
	3. Primaria completa
	4. Secundaria
	5. Secundaria completa
	6. Tecnología
	7. Superior
	8. Otros

C.- Datos Socio-Económicos

9.- La UPA donde cultiva es:		1. Propio
		2. Arrendado
		3. Prestada

10.- ¿Cuál es la extensión total cultivada de la UPA?	
---	--

D.- Criterios para determinar la percepción de la problemática del cambio climático frente a la agricultura

11.- ¿Cree usted que existe el cambio climático?		1. Si	Pase a la pregunta 12
		2. No	Pase a la pregunta 15

12.- ¿Ha notado la presencia del cambio climático?		1. Si	pase a la pregunta 13
		2. No	Pase a la pregunta 15

13 - ¿A qué atribuye usted el cambio climático?		1. Deforestación
		2. Industria
		3. Contaminación ambiental
		4. Todas

14.- ¿Ha afectado el cambio climático a la parte agrícola?		1. Fechas de siembra
		2. Desarrollo vegetativo
		3. Rendimiento
		4. Todas

15.- ¿Cuál es su percepción de la temperatura de este año en comparación con los anteriores años?		1. Incrementó
		2. Disminuyó
		3. No percibió cambios

16.- ¿Cuál es su percepción de las lluvias de este año en comparación con los anteriores años?	1. Incrementó
	2. Disminuyó
	3. No percibió cambios

17.- En cuanto a las fechas de siembra, ¿ha cambiado la época de siembra que realizaba tradicionalmente en sus cultivos de fréjol, maíz y papa?	1. SI
	2. NO

18.- ¿Qué criterios toma en cuenta para las fechas de siembra?	1. Precipitación
	2. Calendario lunar
	3. Almanaque
	4. Todas

19.-Cuál es su superficie sembrada actualmente y en que fechas sembró:

cultivos	Mes	fecha de siembra	Superficie/ha
1.- fréjol		1era semana	
		2da semana	
		3era semana	
		4ta semana	
2.- maíz		1era semana	
		2da semana	
		3era semana	
		4ta semana	
3.- papa		1era semana	
		2da semana	
		3era semana	
		4ta semana	
	4.- Otros		

Gracias por su colaboración

Anexo 3. Fotografías de las zonas encuestadas.



Fotografía 1. Zona agrícola del Ilaló.



Fotografía 2. Cultivos de la zona del Ilaló.



Fotografía 3. Agricultor encuestado de la zona del Ilaló.



Fotografía 4. Cultivo de maíz en la zona del Ilaló.



Fotografía 5. Agricultor encuestado en San José de Collaqui.



Fotografía 6. Cultivo asociado de maíz y fréjol en la zona de San José de Collaqui.

X. GLOSARIO

Comisión internacional de riego y drenajes (ICID).

Aerosoles: Una colección de partículas sólidas o líquidas en el aire, con un tamaño típico entre 0.01 y 10 mm que residen en la atmósfera. Los aerosoles pueden influir en el clima de dos maneras: directamente a través de la dispersión y absorción de la radiación, e indirectamente a través de actuar como núcleos de condensación para la formación de nubes o modificar las propiedades ópticas y la vida útil de las nubes

Antropogénico: Resultantes de o producidos por seres humano.

Clima: El clima en sentido estricto generalmente se define como el "clima promedio", o más rigurosamente, como la descripción estadística en términos de la media y la variabilidad de las cantidades relevantes durante un período de tiempo que varía de meses a miles de años.

Climatología: Estudio las condiciones meteorológicas en un área determinada dentro de un período de tiempo específico, como se caracteriza por relaciones estadísticas como valores medios, normal.

Cambio climático: El cambio climático se refiere a cualquier cambio en el clima a lo largo del tiempo, ya sea debido a la variabilidad natural o como resultado de la actividad humana.

Déficit de agua: Falta o escasez del agua que se juzga necesaria, escasez, estrés.

Dióxido de carbono (CO₂): Un gas natural, también es un subproducto de la quema de combustibles fósiles y biomasa, así como de los cambios en el uso de la tierra y otros procesos industriales.

Estrés hídrico: Estado deficitario que anula o disminuye en las células foliares de la planta su presión de turgencia, manifestándose el marchitamiento.

Evaporación: El proceso por el cual el agua se cambia del estado líquido al estado gaseoso a través de la transferencia de energía térmica.

El Niño-Oscilación del Sur (ENSO): El Niño, en su sentido original, es una corriente de agua caliente que fluye periódicamente a lo largo de la costa de Ecuador y Perú. Este evento oceánico está asociado con una fluctuación del patrón de presión de la superficie intertropical y la circulación en los océanos Índico y Pacífico, denominada Oscilación del Sur. Este evento tiene un gran impacto en el viento, la temperatura de la superficie del mar y los patrones de precipitación en el Pacífico tropical. Tiene efectos climáticos en toda la región del Pacífico y en muchas otras partes del mundo.

Humedad relativa: La relación entre el vapor de agua presente en el aire y el vapor que el mismo aire podría contener si está saturado, expresado como un porcentaje.

Necesidad de riego: Volumen de agua que ha de pasar a través del suelo radical para que la concentración de solutos se mantenga aquí por debajo de unos límites de tolerancia.

Marchitamiento: Proceso de pérdida de vigor de la planta para el intercambio gaseoso con la atmósfera, la expansión celular en hojas y flores, lo que puede repercutir en una limitación en la actividad vegetal (crecimiento vegetativo o desarrollo fisiológico) y, por tanto, en la cantidad y calidad de cosecha.

Necesidad(es) hídricas: Cantidad de agua para satisfacer en un momento dado una demanda dada de abastecimiento, o de riego, o para usos industriales.

Percolación: No es término apropiado para referirse a la filtración profunda.

Pérdidas hídricas: En parte se desperdicia como consumo por evaporación o transpiración y en parte escapa por filtraciones, fugas y descargas (sobrantes) fuera del dominio considerado.

Precipitación efectiva: en la práctica de riego, la porción de la precipitación total que retiene el suelo para que esté disponible.

Recursos hídricos: Cantidad de agua disponible con una calidad mínima, que puede ser obtenida y usada para fines determinados dentro de unos límites técnicos, económicos y sociales.

Retención de agua del suelo: Contenido hídrico que retiene el suelo en función de la tensión matricial a que es sometido, según describen las curvas de retención.

Riego: Acción y efecto de regar o esparcir agua al suelo o a plantas cultivadas. Mediante diversas técnicas, se aplica agua a canteros o directamente sobre las plantas, para asegurar la producción de cultivos cuyas exigencias hídricas no son satisfechas por la aportación de procedencia natural.

Tanque de evaporación: Un tanque experimental que se utiliza para determinar la cantidad de evaporación de la superficie del agua en condiciones climáticas y culturales medidas u observadas.

Temperatura: Magnitud física relacionada con la energía de agitación de las moléculas, que se percibe por la sensación de caliente o frío.